รายงานฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การพัฒนาระบบทวนสัญญาณสำหรับการสื่อสารผ่านแสง ที่ตามองเห็นได้

DEVELOPMENT OF REPEATER SYSTEM FOR VISIBLE LIGHT COMMUNICATION

ผู้รับทุน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์

ทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภท เงินอุดหนุนทั่วไป (งบประมาณแผ่นดิน)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560
สัญญาเลขที่ A118-0460-005

สารบัญ

หน้า

สารบัญ.....I

สารบัญตาราง.....IV

สารบัญรูป.....V

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....3

1.4 ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย.....4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....5

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล.....5

1.7 ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย.....6

1.8 ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม.....7

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้.....8

2.1 บทนำ.....8

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบการสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้.....8

2.3 แอลอีดี (Light Emitting Diode; LED).....9

2.4 โฟโต้ไดโอด (Photodiode).....10

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller).....11

2.5.1 Arduino Uno Revision 3.....11

2.6 การผสมสัญญาณเชิงแสง.....13

2.6.1 การผสมสัญญาณเชิงแสงโดยใช้การตรวจจับแบบโดยตรง.....13

2.7 ประเภทการมอดูเลชั่น (Modulation).....14

2.7.1 ออน-ออฟคีย์อิ้ง (On-Off Keying, OOK).....14

2.8 พื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสงที่มองเห็นได้.....15

บทที่ 3 โครงสร้างของระบบและการออกแบบ.....17

3.1 บทนำ.....17

3.2 โครงสร้างของระบบ.....17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดี....................18
3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้....................18
3.3.2 การออกแบบวงจรส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดี....................19
3.4 ชุดอุปกรณ์รับข้อมูลจากแสง....................21
3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้....................21
3.4.2 การออกแบบวงจรรับข้อมูลแสงจากหลอดแอลอีดี....................22
3.5 การรวมวงจรในภาคส่งและรับเพื่อใช้งาน....................22
3.5.1 ส่วนของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง....................22
3.5.2 ส่วนของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ....................24
3.6 การรับส่งข้อมูลจากชุดการทดลอง....................25
3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์....................27
3.7.1 การควบคุมทิศทางการหมุนของ Servo....................27
3.7.2 การควบคุมการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้....................28
3.7.3 การควบคุมการรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้....................28
3.8 โปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface) 31
3.8.1 โปรแกรมที่ต้นทาง (Sender Interface)....................31
3.8.2 โปรแกรมที่ปลายทาง (Receiver Interface)....................35

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง....................38
4.1 บทนำ....................38
4.2 การทดลองส่งข้อมูลตัวอักษรจากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง....................38
4.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....................38
4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้....................38
4.2.3 วิธีการทดลอง....................38
4.2.4 สรุปผลการทดลอง....................40
4.3 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูล....................40
4.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....................40
4.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้....................40
4.3.3 วิธีการทดลอง....................41
4.3.4 ผลการทดลอง....................41
4.3.5 สรุปผลการทดลอง....................46

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....44
4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้....44
4.4.3 วิธีการทดลอง....45
4.4.4 ผลการทดลอง....45
4.4.5 สรุปผลการทดลอง....45
4.5 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ....46
4.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....46
4.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้....46
4.5.3 วิธีการทดลอง....46
4.5.4 ผลการทดลอง....47
4.5.5 สรุปผลการทดลอง....48
4.6 การทดลองการสื่อสารแบบหลบหลีกสิ่งกีดขวาง....49
4.6.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง....49
4.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้....49
4.6.3 วิธีการทดลอง....49
4.6.4 สรุปผลการทดลอง....49

บทที่ 5 บทสรุปและวิจารณ์....50
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน....50
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข....51
5.3 แนวทางพัฒนาต่อไป....51

เอกสารอ้างอิง....53

สารบัญตาราง

หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno Revision 3..12
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno Revision 3 (ต่อ).................................13
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองระยะทางที่สามารถรับข้อมูลได้...41
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเข้มแสง
และบริเวณที่แสงตกกระทบ...47

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ....................1
รูปที่ 2.1 การสื่อสารไร้สายเชิงแสง....................8
รูปที่ 2.2 หลอดแอลอีดีชนิด Super Bright....................10
รูปที่ 2.3 หลอดแอลอีดีชนิด Spotlight....................10
รูปที่ 2.4 หลอดแอลอีดีชนิด Ultra Bright....................10
รูปที่ 2.5 โฟโต้ไดโอดในรูปแบบต่างๆ....................11
รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino Uno Revision 3....................12
รูปที่ 2.7 รูปแบบการผสมสัญญาณเชิงแสงโดยใช้การตรวจจับแบบโดยตรง....................14
รูปที่ 2.8 รูปแบบการส่งสัญญาณแบบออน-ออฟคีย์อิ้ง....................15
รูปที่ 2.9 ลักษณะของสัญญาณออน-ออฟคีย์อิ้ง....................15
รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ....................17
รูปที่ 3.2 กระบวนการทำงานโดยรวม....................18
รูปที่ 3.3 วงจรส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดี....................19
รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา....................19
รูปที่ 3.5 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดีต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์....................20
รูปที่ 3.6 การทดสอบใช้งานวงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา....................20
รูปที่ 3.7 วงจรภาครับข้อมูลแสงจากหลอด LED 21
รูปที่ 3.8 วงจรภาครับข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา....................21
รูปที่ 3.9 วงจรภาครับข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์....................22
รูปที่ 3.10 วงจรของอุปกรณ์ต้นทาง และปลายทาง (Transceiver)....................23
รูปที่ 3.11 วงจรของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางบนบอร์ดไข่ปลา....................24
รูปที่ 3.12 วงจรของอุปกรณ์ทวนสัญญาณบนบอร์ดไข่ปลา....................25
รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแบบจำลองในการใช้งานที่มีสิ่งกีดขวาง....................26
รูปที่ 3.14 การทดลองส่งข้อมูลไบนารี่ 11010011 จากหลอดแอลอีดี
ไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง....................27
รูปที่ 3.15 เครื่องรับส่งสัญญาณต้นทางที่ติดตั้ง Servo....................27
รูปที่ 3.16 Flowchart แสดงการควบคุมทิศทางการหมุนของ Servo 28
รูปที่ 3.17 Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของวงจรส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้....................29

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

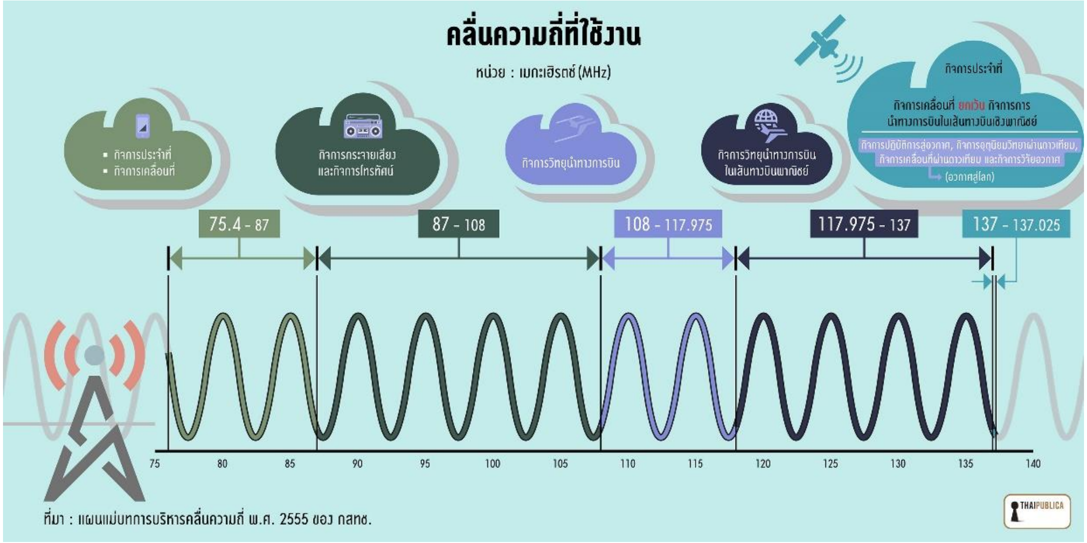
รูปที่ 3.18 Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของวงจรรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้.........30
รูปที่ 3.19 การเลือกคอมพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์............................31
รูปที่ 3.20 การเลือกเส้นทางสำหรับการสื่อสาร...31
รูปที่ 3.21 การเลือกไฟล์ .txt ที่ต้องการส่ง...32
รูปที่ 3.22 การแสดงเนื้อหาของไฟล์ .txt ในกล่องข้อความ...32
รูปที่ 3.23 ข้อมูลกำลังถูกส่งไปยังปลายทาง และรอการยืนยันการส่งที่สมบูรณ์.................................33
รูปที่ 3.24 หน้าต่างแจ้งเตือนเมื่อไม่มีการเลือกเส้นทางก่อนการส่ง..33
รูปที่ 3.25 หน้าต่างแสดงการส่งที่ไม่สมบูรณ์...34
รูปที่ 3.26 หน้าต่างแสดงการส่งที่สมบูรณ์..34
รูปที่ 3.27 ไฟล์ Slog.txt เก็บข้อมูลการส่งทั้งที่ส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์..35
รูปที่ 3.28 การเลือกคอมพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อ...35
รูปที่ 3.29 โปรแกรมแสดงข้อมูลที่ได้รับ...36
รูปที่ 3.30 ตั้งชื่อไฟล์และเลือกตำแหน่งเพื่อบันทึกข้อมูล...36
รูปที่ 3.31 ข้อมูลภายในไฟล์ที่ได้ทำการบันทึก...37
รูปที่ 3.32 ไฟล์ Rlog.txt เก็บข้อมูลการรับ..37
รูปที่ 4.1 รูปการทดลองแปลงค่าจากตัวอักษรเป็นบิต ตามตาราง ASCII 39
รูปที่ 4.2 การทดลองส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีไปยังวงจรรับสัญญาณแสง..........................39
รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณจากวงจรส่งสัญญาณแสงและวงจรรับสัญญาณแสง...40
รูปที่ 4.4 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 1 เมตร...42
รูปที่ 4.5 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร...43
รูปที่ 4.6 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร 90 เซนติเมตร..................43
รูปที่ 4.7 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร 90 เซนติเมตร..................44
รูปที่ 4.8 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ......................................45
รูปที่ 4.9 การทดลองวัดขนาดและความเข้มแสงตามระยะทางที่เปลี่ยนไป...46
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทาง...48
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบริเวณที่แสงตกกระทบกับระยะทาง.............................48
รูปที่ 4.12 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ...................................49
รูปที่ 5.1 แบบจำลองการใช้เครื่องทวนสัญญาณเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง...50

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่พบเห็นส่วนใหญ่จะเป็นการสื่อสารโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ (Radio wave) ซึ่งครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 3 kHz -300 GHz (ความยาวคลื่นตั้งแต่ 100 กิโลเมตร ถึง 1 เซนติเมตร) เป็นตัวกลางในการส่งและรับข้อมูล แต่ในปัจจุบันคลื่นความถี่วิทยุมีข้อจำกัดในเรื่องของแบนด์วิดธ์ (Bandwidth) เนื่องจากช่วงความถี่คลื่นวิทยุนั้น มีความแออัดอย่างมากสำหรับการใช้งาน

โดยประเทศไทยนั้น สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ (สำนักงาน กสทช.) เป็นผู้บริหารการใช้งานคลื่นความถี่ ซึ่งจากแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2555) นั้น แสดงให้เห็นชัดเจนว่าการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุในประเทศไทยมีการใช้งานอย่างหนาแน่น [1] เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน รูปที่ 1.1 แสดงการใช้งานความถี่คลื่นวิทยุในประเทศไทย จากแผนแม่บทการบริหารคลื่นความถี่ (พ.ศ. 2555)



รูปที่ 1.1 การใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ [2]

อย่างไรก็ตาม ยังมีความต้องการคลื่นความถี่เพื่อนำไปใช้งานในรูปแบบอื่นๆ ที่กำลังมีการพัฒนาในปัจจุบันและอนาคต ดังนั้น จึงเริ่มมีการพัฒนาการประยุกต์ใช้งานกับช่วงความถี่ที่สูงขึ้น คือช่วงความถี่แสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible light frequency) และเรียกเทคโนโลยีนี้ว่าเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light Communication) หรือเรียกสั้นๆว่า VLC เพื่อเป็นการผ่อนคลายความแออัดของการใช้ช่วงความถี่คลื่นวิทยุสำหรับการสื่อสารไร้สาย โดยแสงที่มนุษย์สามารถมองเห็นได้นั้น ครอบคลุมย่านความถี่ตั้งแต่ 400 THz ถึง 800 THz หรือ

ครอบคลุมความยาวคลื่นตั้งแต่ 375 ถึง 780 นาโนเมตรโดยประมาณ และมีความปลอดภัยต่อมนุษย์ เนื่องจากเป็นการสื่อสารโดยใช้แสงที่มองเห็นได้ [3] เทคโนโลยีนี้จะใช้หลอดไฟที่ติดตั้งภายในอาคารเพื่อการส่องสว่างอยู่แล้ว เช่นหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) หรือหลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode: LED) [4] เป็นตัวส่งสัญญาณ และจะใช้โฟโต้ไดโอด (Photo Diode) หรืออิมเมจเซ็นเซอร์ (Image Sensor) เป็นตัวรับสัญญาณ ข้อได้เปรียบอย่างมากของเทคโนโลยี VLC คือต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอื่นๆ เพราะไม่จำเป็นต้องลงทุนในการวางโครงสร้างของระบบส่งสัญญาณ เนื่องจากสามารถใช้หลอดไฟที่ติดตั้งอยู่ทุกหนทุกแห่งเพื่อการส่องสว่างอยู่แล้วเป็นตัวส่งสัญญาณนั่นเอง ถ้าหากเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายอื่นๆ จะมีการลงทุนมหาศาลในการติดตั้งระบบส่งสัญญาณ เช่นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์ส่งสัญญาณไม่ว่าจะเป็นเครื่องส่งสัญญาณ สายอากาศ และเสาส่งสัญญาณเป็นต้น ค่าใช้จ่ายในส่วนของการประมูลใบอนุญาตใช้ความถี่ ค่าใช้จ่ายในส่วนของการเช่าที่ดิน หรือพื้นที่ในการติดตั้งระบบและเสาส่งสัญญาณ และค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าแรงของวิศวกร ช่าง คนงาน ในการติดตั้งระบบ เป็นต้น

แม้ว่าเทคโนโลยี VLC จะเพิ่งได้รับความสนใจในวงกว้างเมื่อไม่นานมานี้ แต่แท้จริงแล้วเทคโนโลยี VLC ได้เกิดขึ้นตั้งแต่ปี 1880 ในกรุงวอชิงตันดีซีเมื่อ Alexander Graham Bell ได้คิดค้น Photophone และได้กล่าวถึงการส่งข้อมูลผ่านแสงได้ [5] หลังจากนั้นปี 2003 ในห้องทดลองของ Nakagawa มหาวิทยาลัยเคโอ ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มศึกษาวิธีการส่งข้อมูล VLC อย่างจริงจัง [6] ตั้งแต่นั้นมาก็มีการวิจัย VLC จำนวนมากขึ้นเช่นโครงการโอเมก้า [7] COWA [8] และ ByteLight [9] เป็นต้นอย่างไรก็ตาม เทคโนโลยี VLC มีข้อจำกัด [10] คือสามารถรับส่งสัญญาณได้ในระยะใกล้มาก เนื่องจากเป็นคลื่นสั้น กล่าวคือสามารถรับส่งสัญญาณได้ประมาณ 1-100 เมตร และสามารถส่งสัญญาณได้ดีในบริเวณที่ไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างอุปกรณ์ส่งสัญญาณและอุปกรณ์รับสัญญาณ (ซึ่งเรียกการสื่อสารในลักษณะนี้ว่าการสื่อสารแบบ line of sight) ซึ่งเป็นไปได้ยากในการนำไปใช้งานจริง นอกจากนี้อัตราในการรับส่งข้อมูลนั้นยังต่ำอยู่ซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลอยู่เพียงหลักกิโลบิตต่อวินาที ถึง 10 เมกะบิตต่อวินาที [11] เมื่อเทียบเคียงกับอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงในปัจจุบันซึ่งมีอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลเท่ากับ 1 กิกะบิตต่อวินาทีการพัฒนาอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลนี้ ถูกจำกัดด้วยประสิทธิภาพของอุปกรณ์ส่งและอุปกรณ์รับที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่ว่าจะเป็นหลอดแอลอีดี ซึ่งเป็นส่วนของภาคส่งสัญญาณ และโฟโต้ไดโอดหรืออิมเมจเซ็นเซอร์ ซึ่งเป็นส่วนของภาครับสัญญาณ

ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาการประยุกต์ใช้งานหรือแอพพลิเคชันที่ใช้เทคโนโลยี VLC เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้งานภายในที่ร่มหรือภายในอาคาร ตัวอย่างการใช้งานที่เห็นภาพชัด เช่น Haruyama ได้นำเสนอระบบการนำทางสำหรับผู้พิการทางสายตา โดยใช้หลอดแอลอีดี เป็นตัวส่งสัญญาณ และใช้สมาร์ทโฟนที่มีเครื่องรับสัญญาณแสง เป็นตัวรับสัญญาณ เมื่อสมาร์ทโฟนรับสัญญาณแสงแล้ว จะคำนวณหาตำแหน่งของผู้พิการทางสายตา พร้อมทั้งคำนวณเส้นทางการเดินทาง จากนั้นจะนำทางผู้พิการทางสายตาด้วยเสียง [11] เป็นต้น Bhalerao และ Sonavane [12] ได้จำแนกกลุ่มของแอพพลิเคชันที่สามารถพัฒนาโดยใช้เทคโนโลยี VLC ได้ ไว้อย่างน่าสนใจ ตัวอย่างเช่น

- การประยุกต์ใช้งานในบ้านหรือสำนักงาน โดยได้ยกตัวอย่างโปรเจค Smart lighting office ซึ่งเป็นโปรเจคที่ได้รับการพัฒนาโดยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยบอสตัน โดยมีการใช้ VLC ใน

การส่งสัญญาณระหว่างอุปกรณ์สำนักงาน เช่นสมาร์ทโฟน คอมพิวเตอร์ แทบเล็ต ปรินเตอร์ เป็นต้น

- การประยุกต์ใช้ VLC ในโรงพยาบาล เช่นการออกแบบระบบสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่ในโรงพยาบาลด้วยการสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สาย หากออกแบบระบบที่ใช้งานด้วยคลื่นวิทยุ จะมีผลกระทบกับอุปกรณ์ทางการแพทย์เช่น CT scan และ MRI scanner ดังนั้นการใช้งานด้วยคลื่นความถี่แสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้ จะแก้ปัญหาเรื่องผลกระทบต่ออุปกรณ์ทางการแพทย์ได้
- การประยุกต์ใช้กับการเดินทางด้วยยานพาหนะ เช่นการพัฒนาระบบการสื่อสารระหว่างไฟจราจรกับไฟหน้าและไฟท้ายของรถยนต์ เพื่อรับส่งข้อมูลสภาพการจราจร หรือการพัฒนาระบบการสื่อสารระหว่างรถยนต์ที่อยู่ข้างหน้าและอยู่ข้างหลังของรถตัวเอง เพื่อให้สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ เป็นต้น โดยหลอดไฟที่ใช้ในไฟจราจรและไฟหน้า ไฟท้ายรถยนต์จะต้องเป็นหลอดแอลอีดี
- การประยุกต์ใช้กับภาคสังคม ชุมชน เช่นการกำหนดรหัสประจำตัว (ID) ให้หลอดไฟแต่ละหลอดซึ่งรหัสประจำตัวเหล่านี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อการใช้งานได้หลากหลาย โดยเฉพาะงานการระบุตำแหน่งของเป้าหมาย พร้อมทั้งนำทาง ตัวอย่างเช่นการนำทางให้กับผู้พิการทางสายตา เป็นต้น

จากความสามารถในการใช้เทคโนโลยี VLC เพื่อพัฒนาการประยุกต์ใช้งานที่เป็นประโยชน์ได้หลากหลาย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องแก้ปัญหาในเรื่องของข้อจำกัดของ VLC ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องทวนสัญญาณ (Repeater) สำหรับเทคโนโลยี VLCขึ้นเพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสาร แก้ปัญหาการรับส่งสัญญาณแบบ line of sight และสามารถรับส่งสัญญาณด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

พัฒนาระบบทวนสัญญาณต้นแบบ

1. เพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสารระหว่างจุดต่อจุดในการรับส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามนุษย์มองเห็นได้
2. เพื่อให้สามารถสื่อสารในบริเวณที่มีสิ่งกีดขวางได้ (แก้ปัญหาเรื่องการสื่อสารได้เฉพาะบริเวณที่เป็น line of sight))
3. เพื่อให้สามารถรับส่งสัญญาณด้วยอัตราเร็วที่สูงขึ้น

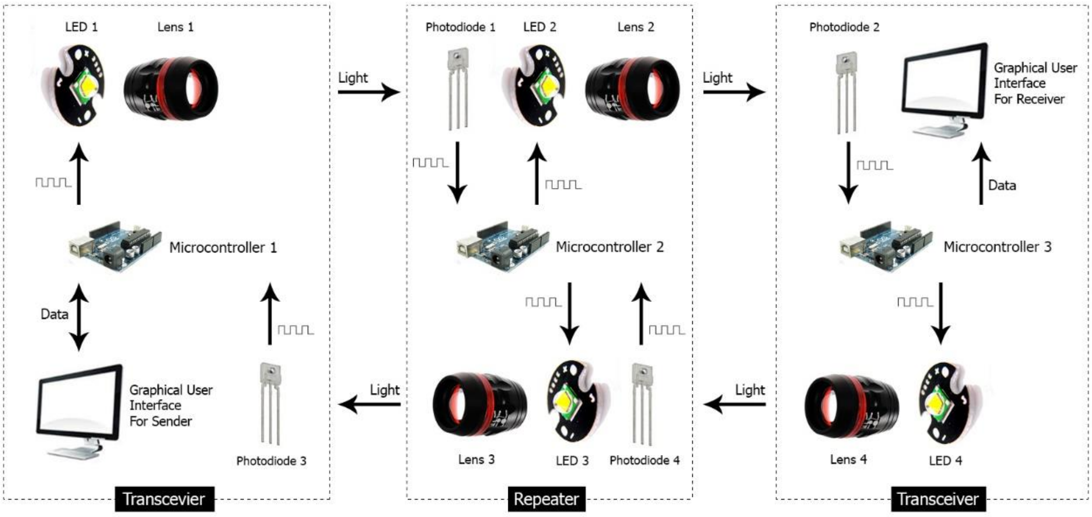
3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ระบบสามารถส่งและรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้
2. ระบบสามารถทวนสัญญาณเพื่อส่งสัญญาณต่อไปยังเครื่องรับสัญญาณปลายทางได้
3. ระบบสามารถเลือกเส้นทางในการส่งสัญญาณได้
4. ระบบสามารถแจ้งเตือนการสื่อสารที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ได้
5. ระบบสามารถบันทึกเวลาในการส่งและรับข้อมูลได้

4. ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับการสื่อสารผ่านแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ โดยทำการพัฒนาเครื่องทวนสัญญาณ เพื่อลดข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการสื่อสารและลดข้อจำกัดสำหรับการสื่อสารแบบ line of sight อีกทั้งเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล

ภาพรวมและกระบวนการทำงานของโครงการวิจัยนี้ แสดงได้ดังรูป



ภาพรวมและกระบวนการทำงานของระบบ

โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักคือส่วนฮาร์ดแวร์ และส่วนซอฟต์แวร์ สำหรับส่วนฮาร์ดแวร์ ประกอบไปด้วยเครื่องรับและส่งสัญญาณ (Transceiver) และเครื่องทวนสัญญาณ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

เครื่องรับและส่งสัญญาณจะประกอบไปด้วย ภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดย

- ภาคส่งสัญญาณจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ควบคุมการรับส่งและแปลงข้อมูลหรือไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) หลอดแอลอีดี และเลนส์นูน
- ภาครับสัญญาณจะประกอบไปด้วย โฟโต้ไดโอด และไมโครคอนโทรลเลอร์

เครื่องทวนสัญญาณ จะประกอบไปด้วยเครื่องรับและส่งสัญญาณ 2 ชุด ดังรูป

สำหรับส่วนซอฟต์แวร์ จะเป็นโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานให้สามารถส่งและรับข้อมูลได้อย่างสะดวก โดยสามารถเลือกเส้นทางในการสื่อสาร มีการแจ้งเตือนการสื่อสารที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ และการเก็บไฟล์ log ซึ่งบันทึกข้อมูลต่างๆในการรับส่งโดยอัตโนมัติ

หลักการทำงานของระบบ เริ่มต้นจากข้อมูลที่ต้องการส่งจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งผ่านสาย USB แล้วนำมาแปลงข้อมูลเป็นไบนารี่โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ จากนั้นสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปยังหลอดแอลอีดี ผ่านเลนส์นูนซึ่งทำหน้าที่รวมแสงก่อนส่งออกไปยังช่องสัญญาณไร้สาย (ชั้นบรรยากาศ) จากนั้นเครื่องทวนสัญญาณ จะทำการรับสัญญาณข้อมูลโดยโฟโต้ไดโอด แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้หลอดแอลอีดีในเครื่องทวนสัญญาณทำการส่งต่อสัญญาณข้อมูลออกไป จากนั้นภาครับสัญญาณของเครื่องรับและส่งสัญญาณปลายทาง จะรับสัญญาณข้อมูลผ่านทางโฟโต้ไดโอด แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการแปลงข้อมูลกลับก่อนส่งสัญญาณผ่านทางสาย USB ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ปลายทางเพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งาน

กรอบแนวความคิดของการทำวิจัยนี้ คือการพัฒนาระบบทวนสัญญาณขึ้นเพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสารระหว่างจุดต่อจุด โดยสามารถเพิ่มระยะทางได้เป็นสองเท่าหากติดตั้งตัวทวนสัญญาณเพิ่มหนึ่งตัว ดังนั้นหากต้องการขยายระยะทางการสื่อสารให้มากขึ้น ก็สามารถเพิ่มจำนวนตัวทวนสัญญาณในระบบได้ ระบบทวนสัญญาณนี้นอกจากจะเพิ่มระยะทางแล้วยังเพิ่มความสะดวกในการสื่อสารสำหรับการสื่อสารที่เป็นแบบ line of sight ซึ่งสามารถติดตั้งตัวทวนสัญญาณให้หลบสิ่งกีดขวางได้ตามต้องการ นอกจากส่วนของฮาร์ดแวร์แล้ว ผู้วิจัยจะได้ทำการพัฒนาซอฟแวร์ให้ผู้ใช้งานสามารถส่งและรับข้อมูลได้อย่างสะดวกอีกด้วย โดยสามารถเลือกเส้นทางในการสื่อสาร มีการแจ้งเตือนการสื่อสารที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ และการเก็บไฟล์ log ซึ่งบันทึกข้อมูลต่างๆ ในการรับส่งได้โดยอัตโนมัติ

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ด้านวิชาการ:

ผลการวิจัยนี้สามารถเผยแพร่ในการประชุมวิชาการ และ/หรือวารสารวิชาการได้ อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ในการนำจดสิทธิบัตร และเพื่อให้เห็นผลลัพธ์จากการนำไปใช้ประโยชน์จริง จะได้นำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้งานในห้องทดลองของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) เพื่อสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นแอพพลิเคชันที่ใช้งานที่หลากหลายขึ้นอย่างไรก็ตาม หากมีหน่วยงานรัฐหรือหน่วยงานเอกชนที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มีความสนใจในการพัฒนาต่อเพื่อให้เกิดการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ก็สามารถประสานความร่วมมือกับ สจล. ได้

6. วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
3. ออกแบบระบบการทำงานโดยรวม
4. ออกแบบและสร้างฮาร์ดแวร์บนพื้นฐานของต้นทุนที่ต่ำ โดยเลือกใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่เหมาะสม
5. ออกแบบและพัฒนาซอร์ฟแวร์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้
6. ทดลองระบบทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์
7. ติดตั้งระบบ และทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด
8. จัดสัมนาวิชาการเผยแพร่เทคโนโลยี VLC และสัมนาเชิงปฏิบัติการให้กับหน่วยงานรัฐ และเอกชนที่เกี่ยวข้องกับการทำวิจัยและพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารกลุ่มตัวอย่าง
9. ติดตามผลการทำงานของระบบ วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบการใช้งาน โดยนำข้อเสนอจากผู้เข้าร่วมสัมนาจากหน่วยงานรัฐ และหน่วยงานเอกชนกลุ่มตัวอย่างมาทำการปรับปรุง แล้วทำการทดสอบใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าความผิดพลาดที่ลู่เข้าค่าใดค่าหนึ่งที่น้อยที่สุด
10. ประเมินผลโครงการ และจัดทำรายงานโครงการวิจัยฉบับสมบูรณ์

7. ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา												หมายเหตุ
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	↔	↔											
2. ศึกษาและจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง			↔										
3. ออกแบบระบบการทำงานโดยรวม			↔	↔									
4. ออกแบบและพัฒนาส่วนฮาร์ดแวร์				↔	↔								
5. ออกแบบและพัฒนาซอร์ฟแวร์ส่วนติดต่อกับผู้ใช้						↔	↔						
6. ทดลองระบบทั้งส่วนฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์								↔					
7. ติดตั้งระบบ และทำการทดสอบการใช้งานทั้งหมด									↔				
8. จัดสัมนาวิชาการเรื่องเทคโนโลยี VLC										↔			
9. จัดสัมนาเชิงปฏิบัติการให้กับนักวิจัยและผู้สนใจกลุ่มตัวอย่าง										↔			
10. ติดตามผลการทำงานของระบบ วิเคราะห์และแก้ไขข้อผิดพลาดจากการทดสอบการใช้งาน แล้วทำการทดสอบใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ผลเป็นที่น่าพอใจ										↔	↔		
11. ประเมินผลโครงการ และจัดทำรายงานโครงการฉบับสมบูรณ์												↔	

8. ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย (อุปกรณ์การวิจัย โครงสร้างพื้นฐาน ฯลฯ) ระบุเฉพาะปัจจัยที่ต้องการเพิ่มเติม

ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

<u>อุปกรณ์วิจัย</u>

1) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ขับแสงแบบ Ultra Bright LED
2) อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์รับแสงโฟโต้ไดโอด (Photodiode)
3) ไมโครคอนโทรลเลอร์
4) อุปกรณ์อิเล็คทรอนิคส์ไมโครคอนโทรลเลอร์
5) เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์
6) ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)
7) ตัวกำเนิดฟังก์ชั่น (Function Generator)
8) เลนส์รวมแสง
9) ขาตั้งสำหรับการหมุนหาทิศทาง
10) อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
11) อุปกรณ์สำนักงานพื้นฐานและเครื่องเขียน
12) ซอร์ฟแวร์ที่จำเป็น

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 บทนำ

ระบบการสื่อสารไร้สายที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือการสื่อสารโดยใช้คลื่นความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถส่งผ่านสิ่งกีดขวางต่างๆได้ อย่างไรก็ตามการสื่อสารด้วยความถี่คลื่นวิทยุก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของแบนด์วิดธ์ จึงได้มีการศึกษาการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้ โดยการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้ ยังมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการสื่อสาร

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาการทำระบบทวนสัญญาณการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้ขึ้น เพื่อเพิ่มระยะทางในการสื่อสารและหลีกเลี่ยงปัญหาการสื่อสารในเส้นทางที่มีสิ่งกีดขวาง

2.2 ทฤษฎีพื้นฐานของระบบการสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้

การสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light Communication; VLC) คือ การสื่อสารข้อมูลโดยใช้แสงทีตามองเห็นได้ โดยมีความยาวคลื่นระหว่าง 375-780 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่เป็นอันตรายต่อสายตา

เทคโนโลยีนี้จะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) เป็นตัวส่งสัญญาณโดยมีความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 10 kbps หรือหลอดแอลอีดี ที่มีความเร็วในการส่งสัญญาณสูงถึง 500 Mbps และใช้โฟโต้ไดโอดหรืออิมเมจเซ็นเซอร์ในการรับสัญญาณจากแหล่งกำเนิด

เทคโนโลยี VLC มีการนำไปประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย เนื่องจากสามารถนำไปผลิตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นสื่อได้มากมาย เช่น หลอดไฟตามร้านค้า ทีวี สัญญาณไฟจราจร ป้ายโฆษณา ไฟหน้ารถท้ายรถ ด้วยเหตุนี้ทำให้เทคโนโลยี VLC สามารถนำไปใช้งานได้ทุกๆที่

สำหรับต้นแบบ VLC ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยใช้แผงหลอดแอลอีดีกำลังสูงเป็นแหล่งกำเนิดแสงและส่งข้อมูล

รูปที่ 2.1 การสื่อสารไร้สายเชิงแสง [13]

2.3 แอลอีดี (Light Emitting Diode; LED)

ไดโอดเปล่งแสง หรือ แอลอีดี (Light Emitting Diode; LED) คือ ไดโอดที่สามารถเปล่งแสงออกมาได้ แสงที่เปล่งออกมาประกอบด้วยคลื่นความถี่เดียวและเฟสต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างกับแสงธรรมดาที่ตาคนมองเห็น โดยหลอดแอลอีดีสามารถเปล่งแสงได้เมื่อจ่ายกระแสไฟเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และประสิทธิภาพในการให้แสงสว่างก็ยังดีกว่าหลอดไฟขนาดเล็กทั่วไป แอลอีดีมีลักษณะเหมือนไดโอดทั่วๆไปที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N ประกบกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบเป็นมันคล้ายกระจก เมื่อมีการให้ไบแอสตรงแก่ไดโอดจะทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้นจนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อรวมกับโฮล (Hole) ใน P ก่อให้เกิดพลังงานในรูปของประจุโฟตอน (Photon) ซึ่งจะแสดงแสงออกมา การนำแอลอีดีไปประยุกต์ใช้งานส่วนมากใช้ในภาคแสดงผล (LED Display) แอลอีดีโดยทั่วไปมีสองชนิดใหญ่ๆ คือ แอลอีดีชนิดที่ตาคนมองเห็นได้ กับชนิดที่ตาคนมองไม่เห็น ต้องใช้ทรานซิสเตอร์มาเป็นตัวรับแสงแทน

จากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ (Semiconductor) ทำให้เทคโนโลยีของแอลอีดีก้าวหน้าอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ได้มีการนำแอลอีดีมาใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้น เช่น ในเครื่องคิดเลข สัญญาณจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ป้ายสัญญาณต่างๆ ไฟฉาย ไฟให้สัญญาณของประภาคาร จอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น หน้าจอแอลซีดีของโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กันทั่วไป เกือบทั้งหมดจะให้แสงสว่างด้วยแอลอีดี

แอลอีดีนับเป็นอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์แบบหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านและจะปล่อยแสงสว่างออกมา ความจริงแล้วแอลอีดีไม่ใช่เรื่องใหม่แต่อย่างใด โดยนักวิทยาศาสตร์ได้สังเกตมาตั้งแต่ปี 2450 ว่าเซมิคอนดักเตอร์จะเปล่งแสงออกมาเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน อย่างไรก็ตามแสงที่เปล่งออกมามีปริมาณน้อยมาก จึงทำให้เทคโนโลยีนี้ไม่ได้รับความสนใจการนำเทคโนโลยีแอลอีดี มาใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์โดยเริ่มต้นขึ้นเมื่อนาย Nick Holonyak นักวิจัยแห่งบริษัท GE ประสบผลสำเร็จเมื่อปี 2505 ในการประดิษฐ์แอลอีดีที่สามารถเปล่งแสงสีแดงที่มีความสว่างออกมามากเพียงพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์ได้ ทำให้ทั่วโลกเริ่มมีการตื่นตัววิจัยและพัฒนาในด้านนี้อย่างจริงจัง อย่างไรก็ตาม แอลอีดีที่ได้จากการวิจัยและพัฒนาในช่วงนั้นยังเปล่งแสงสว่างน้อยมาก จึงไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปให้แสงสว่างแต่อย่างใด ส่วนใหญ่นำไปใช้เป็นปุ่มสัญญาณแสงสีต่างๆในอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นต้นว่า หลอดแอลอีดีขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดได้ติดตั้งในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้สัญญาณว่าเครื่องกำลังเปิดหรือปิด เดิมแสงจากแอลอีดีจะเป็นสีต่างๆไม่ได้เป็นสีขาว จึงมีข้อจำกัดในการนำมาให้แสงสว่างแทนหลอดไฟ สำหรับบุคคลสำคัญที่สามารถแก้ไขปัญหานี้ คือ นาย Shuji Nakamura แห่งบริษัท Nichia Chemical ของญี่ปุ่น ได้ประสบผลสำเร็จในการประดิษฐ์ แอลอีดีสีน้ำเงินที่มีความสว่างจ้า จากนั้นได้นำแอลอีดีสีน้ำเงินไปเคลือบด้วยสารเคลือบเรืองแสงสีเหลือง จะทำให้แสงจากแอลอีดีที่ออกมากลายเป็นสีขาว สามารถนำไปใช้ในรูปให้แสงสว่าง โดยได้เริ่มวางตลาดแอลอีดีสีขาวนับตั้งแต่ปี 2536 เป็นต้นมา ปัจจุบันจากความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วของเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ทำให้เทคโนโลยีของแอลอีดีก้าวหน้าอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ได้มีการนำแอลอีดีมาใช้ประโยชน์แพร่หลายมากขึ้นเรื่อยๆ เช่น ในเครื่องคิดเลข สัญญาณจราจร ไฟท้ายรถยนต์ ป้ายสัญญาณต่างๆ ไฟฉาย ไฟให้สัญญาณของประภาคาร จอภาพยนตร์ขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น หน้าจอแอลซีดีของโทรศัพท์มือถือที่เราใช้กันทั่วไปเกือบทั้งหมดจะให้แสงสว่างด้วยแอลอีดี ตัวอย่างของหลอดแอลอีดีได้แก่ หลอดแอลอีดีชนิด Super Bright หลอดแอลอีดีชนิด Spotlight และหลอดแอลอีดีชนิด Ultra Bright ดังรูปที่ 2.2 2.3 และ 2.4 ตามลำดับ

รูปที่ 2.2 หลอดแอลอีดีชนิด Super Bright [15, 16]

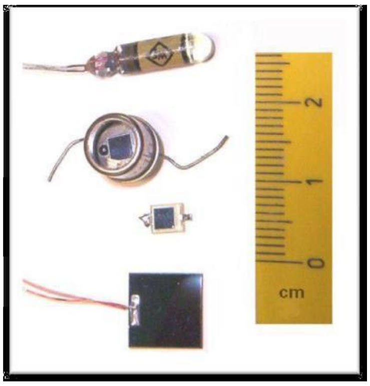
รูปที่ 2.3 หลอดแอลอีดีชนิด Spotlight [18]

รูปที่ 2.4 หลอดแอลอีดีชนิด Ultra Bright [19]

2.4 โฟโต้ไดโอด (Photodiode)

โฟโต้ไดโอด (Photodiode) เป็นอุปกรณ์เชิงแสงชนิดหนึ่งที่สามารถแปลงความถี่หรือความยาวคลื่นแสงเป็นกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าได้ ขึ้นอยู่กับโหมดของการทำงานตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ถูกใช้ในการกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และสารกึ่งตัวนำชนิด N รอยต่อจะถูกห่อหุ้มด้วยวัสดุที่แสงผ่านได้ เช่น กระจกใส

โฟโต้ไดโอด มีอยู่ 2 แบบคือ 1.แบบตอบสนองต่อแสงที่เรามองเห็น 2.แบบตอบสนองต่อแสงในย่านอินฟราเรด (IR Photodiode) ตัวอย่างของโฟโต้ไดโอดชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โฟโต้ไดโอดในรูปแบบต่างๆ [20]

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ คืออุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน ได้แก่ ซีพียู หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งทั้งหมดถูกบรรจุรวมเข้าไว้ภายใต้ตัวถังเดียวกัน

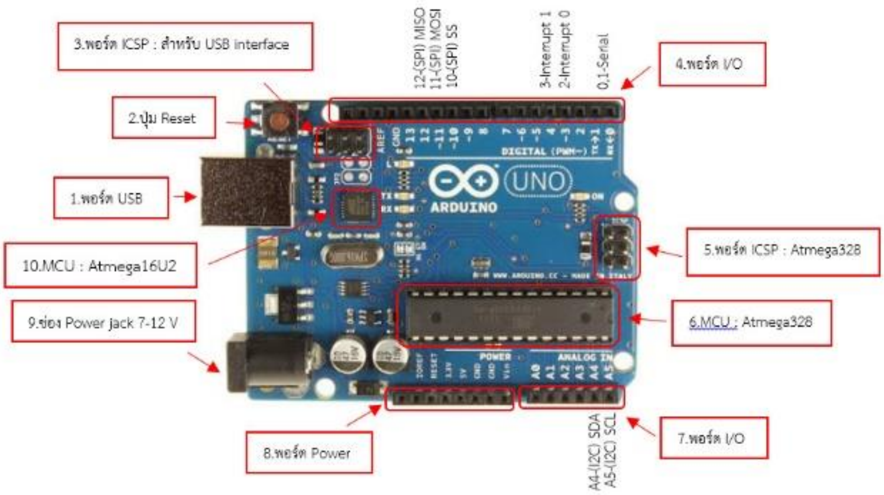
ซีพียูจะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมเพื่ออ่านคำสั่งที่ระบุไว้โดยต้องทำการอ้าง ตำแหน่งของหน่วยความจำผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่า บัสแอดเดรส (address bus) แล้วทำการ อ่านข้อมูลคำสั่งออกมาจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแอดเดรสนั้นๆจากนั้นทำการ ประมวลผล โดยมีหน่วยความจำข้อมูลแรมเป็นที่พักของข้อมูลที่อยู่ในระหว่างการประมวลผล ข้อมูลในการประมวลผลจะส่งผ่านสายสัญญาณที่เรียกว่าบัสข้อมูล (data bus) แล้วส่งต่อไปยัง อุปกรณ์ภายนอกผ่านทางขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุต

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของวงจรทั้งวงจรส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ และวงจรรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ โดยใช้บอร์ด Arduino รุ่น Uno ซึ่งมีรายละเอียดเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ ดังต่อไปนี้

2.5.1 Arduino Uno Revision 3

บอร์ด Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ โดยถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย

เหตุผลที่เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ชนิดนี้ เนื่องจากมีจำนวนขา Analog Input 6 ช่อง Digital Input 14 ช่อง จาก Digital Input สามารถใช้เป็นช่อง Interrupt ได้ 2 ช่อง Flash memory 32 kB สามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่าน USB ได้โดยตรง Shield ส่วนใหญ่ออกแบบมาเพื่อใช้กับบอร์ด Arduino Uno นี้ บอร์ดสามารถรองรับไฟฟ้าภายนอกได้ตั้งแต่ 6-20 โวลต์ แต่ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคือ 7-12 โวลต์ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง



รูปที่ 2.6 บอร์ด Arduino Uno Revision 3 [22]

- หมายเลข 1 USB Port ใช้สำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่ออัพโหลดโปรแกรมเข้าไมโครคอนโทรเลอร์ และจ่ายไฟให้กับบอร์ด
- หมายเลข 2 ใช้เมื่อต้องการให้ไมโครคอนโทรเลอร์ เริ่มการทำงานใหม่
- หมายเลข 3 ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2
- หมายเลข 4 รับสัญญาณดิจิทัล ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ
- หมายเลข 5 Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Boot loader
- หมายเลข 6 ไมโครคอนโทรเลอร์ Atmega328 เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
- หมายเลข 7 รับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
- หมายเลข 8 ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3 V, +5V, GND, Vin
- หมายเลข 9 ช่องสำหรับรับไฟจากตัวแปรไฟ โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
- หมายเลข 10 ไมโครคอนโทรเลอร์ ของ Atmega16U2 เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่ทำหน้าที่ เป็นเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ กับ Atmega16U2

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno Revision 3

คุณสมบัติ	Arduino Uno Revision 3
Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno Revision 3 (ต่อ)

คุณสมบัติ	Arduino Uno Revision 3
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by boot loader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

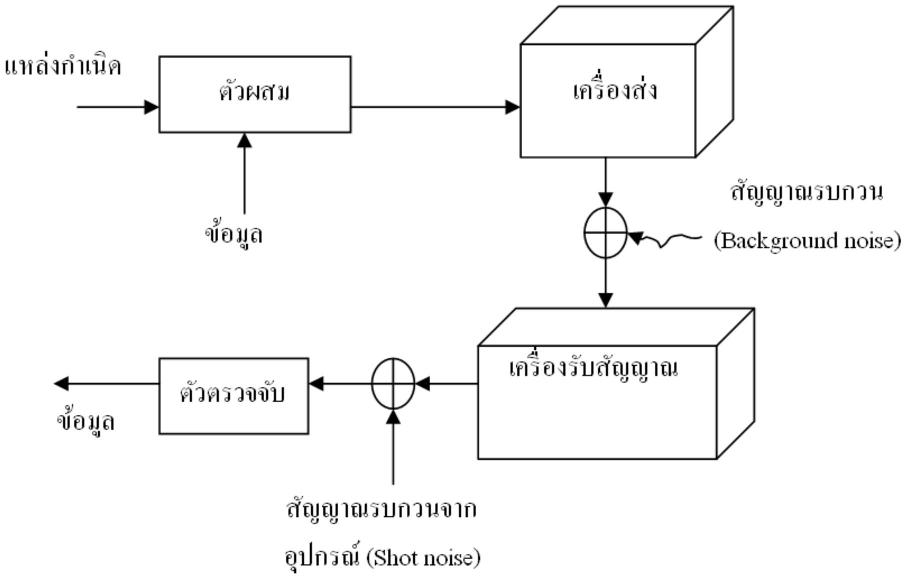
2.6 การผสมสัญญาณเชิงแสง

วิธีการผสมสัญญาณสำหรับการสื่อสารเชิงแสงแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก ได้แก่ เทคนิคการผสมสัญญาณแบบตรวจจับโดยตรง (Direct Detection) และเทคนิคการผสมสัญญาณแบบร่วมนัย (Coherent Detection) ซึ่งการตรวจจับโดยตรงเป็นการส่งสัญญาณแบบเบสแบนด์ (Baseband Transmissions) ที่มีสถานะเป็น “1” และ “0” สำหรับแหล่งกำเนิดแสง (Optical Source) เลเซอร์จะทำการส่งในลักษณะของการกระพริบเลเซอร์ เปิด และ ปิด ตามลำดับ ส่วนเทคนิคการตรวจจับแบบร่วมนัยเป็นเทคนิคการผสมสัญญาณที่เหมือนกับการสื่อสารที่ใช้ความถี่คลื่นวิทยุ ซึ่งสัญญาณที่ตกกระทบที่ส่วนหน้า (Front End) เป็นการรวมกันของสัญญาณที่เข้ามากับสัญญาณที่กำเนิดจาก Local Oscillator โดยการกระทำการตรวจจับแบบร่วมนัย จะได้ความไว (Sensitivity) ในการตรวจจับสัญญาณที่สูงกว่าแบบการตรวจจับโดยตรง

2.6.1 การผสมสัญญาณเชิงแสงโดยใช้การตรวจจับแบบโดยตรง (Direct Detection)

โมเดลของระบบการสื่อสารแบบการตรวจจับโดยตรงแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยข่าวสารที่จะทำการส่งจะถูกผสมกับคลื่นพาห์ทางแสงที่ส่วนของตัวผสมสัญญาณและส่งไปยังภาครับ จากนั้นระบบของเลนส์และตัวตรวจจับสัญญาณแสงจะทำการตรวจจับกำลังงานชั่วขณะ (Instantaneous Power) ที่มาถึงภาครับโดยตรง

การผสมสัญญาณแบบการตรวจจับโดยตรงสัญญาณไบนารี่ (Binary) จะอยู่ในลักษณะ เปิด และ ปิด ของสัญญาณที่ภาคส่ง ซึ่งบอกถึงความแตกต่างของรูปแบบของคลื่นสัญญาณ โดยรูปแบบคลื่นทั่วไปของการตรวจจับโดยตรงจะเป็นการผสมสัญญาณแบบ Pulse Code Modulation (PCM) ที่เข้ารหัสแบบ NRZ (Non Return to Zero) หรือแบบ RZ (Return to Zero) สำหรับการสื่อสารเชิงแสงทั่วไปใช้แบบ Bi Phase (Manchester) ซึ่งคุณสมบัติของรูปคลื่นมีองค์ประกอบสัญญาณ DC ต่ำ มี Symbol/Bit Synchronization ในตัวเอง บางครั้งเรียกว่า Self-Clocking Code แต่จะมีข้อเสียคือมีการขยายของแบนด์วิดธ์ จึงไม่ได้รับความนิยมในการสื่อสารที่ต้องการความเร็วสูง



รูปที่ 2.7 รูปแบบการผสมสัญญาณเชิงแสงโดยใช้การตรวจจับแบบโดยตรง [20]

2.7 ประเภทการมอดูเลชั่น (Modulation)

2.7.1 ออน-ออฟคีย์อิ้ง (On-Off Keying, OOK)

ออน-ออฟคีย์อิ้ง คือ การใช้ช่วงเวลาการเปิดปิดการส่งสัญญาณที่แตกต่างกันในการแทนข้อมูล ใช้หลักการเดียวกับการส่งรหัสมอร์ส (Morse Code) กรณีที่พิจารณาระบบสื่อสารที่มีการส่งสัญญาณแบบออน-ออฟคีย์อิ้ง ที่มีลักษณะในการส่งสัญญาณข้อมูล เพื่อแสดงถึงข้อมูลดิจิทัล “0” หรือ “1” ดังสมการที่ (2.1)

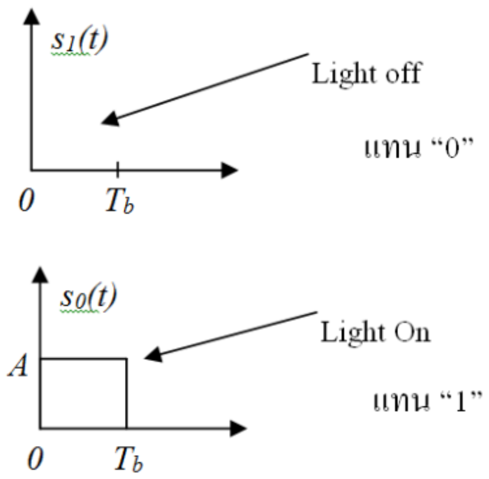
$$r(t) = \begin{cases} 0, & if\ 0\ is\ transmitted \\ s(t), & if\ 1\ is\ transmitted \end{cases} \qquad (2.1)$$

เมื่อ $s(t)$ เป็นรูปแบบของสัญญาณซึ่งถูกใช้เพื่อแสดงถึงข้อมูลดิจิทัล “1” ที่มีการส่ง ข้อมูลด้วยพลังงาน ดังนั้น จะพบว่าลักษณะของสัญญาณข้อมูลที่ถูกตรวจจับได้ที่ภาครับมีลักษณะดังสมการที่ (2.2)

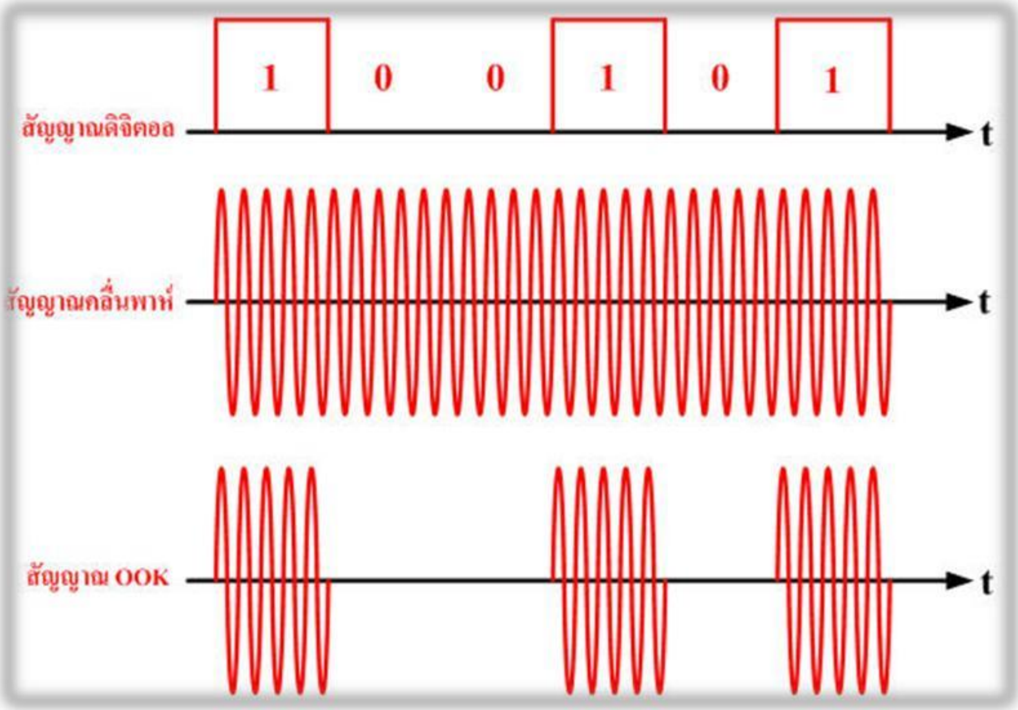
$$r(t) = \begin{cases} n(t), & if\ 0\ is\ transmitted \\ s(t) + n(t), & if\ 1\ is\ transmitted \end{cases} \qquad (2.2)$$

โดย $n(t)$ แสดงถึงผลของสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในช่องสัญญาณ

รูปแบบของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลที่ส่งออกไป และลักษณะของสัญญาณออน-ออฟคีย์อิ้งที่เปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะข้อมูลดิจิทัลที่ส่งออกมา แสดงได้ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9 ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 รูปแบบการส่งสัญญาณแบบออน-ออฟคีย์อิ้ง [20]



รูปที่ 2.9 ลักษณะของสัญญาณออน-ออฟคีย์อิ้ง [20]

2.8 พื้นฐานของการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นได้

ค่าความสว่าง (Illumination) ความสว่างของผิวใดๆหมายถึงค่าความสว่างที่ตกบนพื้นที่ผิวต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ถ้าพิจารณาผิวที่อยู่ห่างจากหลอดไฟที่มีกำลังส่องสว่าง 1 แคลเดลา เป็นระยะทาง 1 เมตร ความเข้มของการส่องสว่างจะมีค่า 1 ลักซ์ (LUX) โดยความเข้มของการส่องสว่างจะแปลผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง

$$E = \frac{I}{R^2} \tag{2.3}$$

โดย E คือ ความสว่าง (LUX, Foot Candle) 1 FC = 10.76 LUX

I คือ กำลังส่องสว่าง (แคลเดลา, cd) โดย $I = \frac{\rho}{4(\frac{1}{2})d^2}$

ρ คือ กำลังของหลอดไฟ (Watt)

d คือ เส้นทแยงมุม (m)

R คือ ระยะห่างจากหลอกไฟถึงผิวที่พิจารณา (m)

การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นได้ (Visible Light Communications: VLC) เป็นหนึ่งในรูปแบบการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication) ตามมาตรฐาน IEEE 802.15.7 ที่ได้รับการพัฒนาให้สามารถรับ ส่งข้อมูลดิจิตอลได้จริงในไม่กี่ปีที่ผ่านมา โดยจะใช้หลอดเรืองแสง (Fluorescent Lamp) หรือหลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode: LED) เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณ และใช้โฟโตไดโอด (Photodiode) หรือ เซนเซอร์รับภาพ (image sensor) เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณ แล้วนาสัญญาณนั้นมาแปลงกลับเป็นข้อมูลให้กับผู้ใช้ สาหรับการสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นได้นั้นสามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย นอกจากจะให้แสงส่องสว่างแล้วยังสามารถส่งผ่านข้อมูลได้ แทนหลอดไฟรูปแบบเดิมที่ให้เพียงแสงสว่างเท่านั้น ดังนั้น ผู้เสนอโครงการวิจัยจึงสนใจที่จะสร้างระบบต้นแบบในการหาตำแหน่งของวัตถุเป้าหมายภายในอาคาร โดยใช้การสื่อสารด้วยแสงที่ตามองเห็นได้ เนื่องจากเห็นว่าการใช้ VLC จะทาให้ระบบการหาตำแหน่งมีการลงทุนที่ต่ำลงได้ เพราะภายในอาคารมีการติดตั้งหลอดไฟเรืองแสง หรือหลอดแอลอีดีอยู่แล้วนั่นเอง

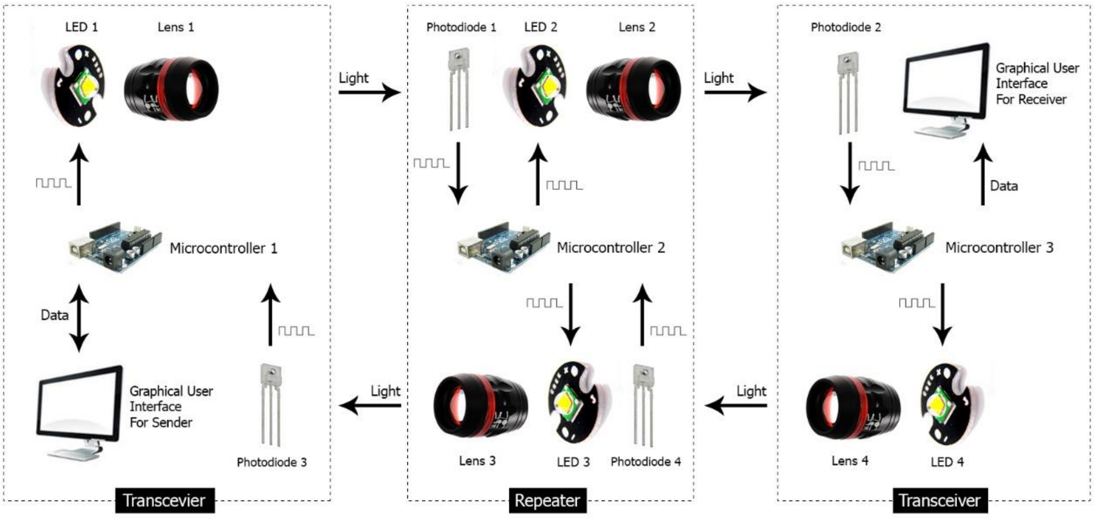
บทที่ 3
โครงสร้างของระบบและการออกแบบ

3.1 บทนำ

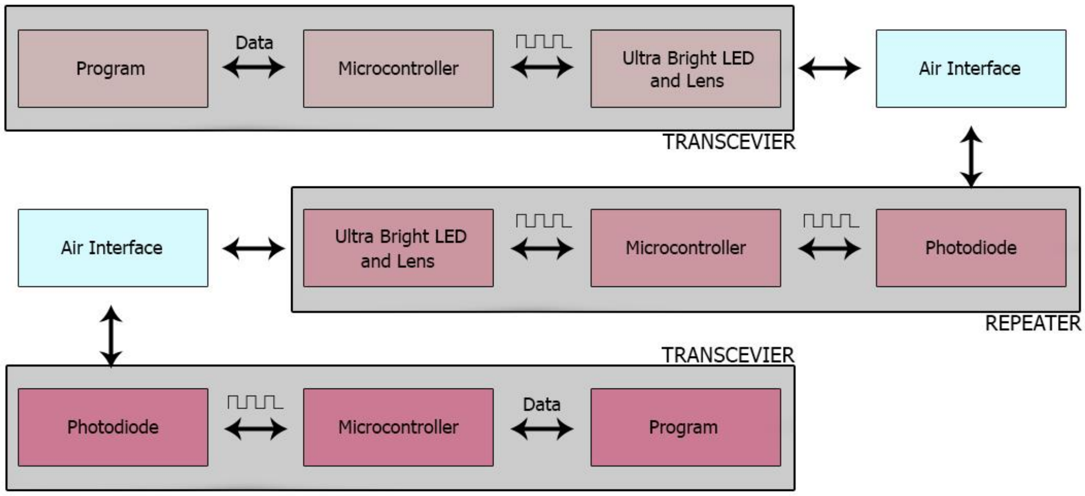
ในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงภาพรวมการทำงานของระบบ รายละเอียดแต่ละส่วนของโครงสร้างในระบบ และวิธีการออกแบบการทำงานของระบบ

3.2 โครงสร้างของระบบ

งานวิจัยนี้ได้นำข้อจำกัดในการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้มาพัฒนา เพื่อลดข้อจำกัดนี้ลงซึ่งก็คือ ระยะทางในการสื่อสารของเทคโนโลยี VLC โดยงานวิจัยนี้ได้ทำเครื่องทวนสัญญาณขึ้นเพื่อทำให้การสื่อสารมีระยะทางที่ไกลมากยิ่งขึ้น และลดข้อจำกัดในการสื่อสารผ่านแสงในด้านการสื่อสารเป็นเส้นตรง (Line of Sight) โครงสร้างของระบบประกอบไปด้วย เครื่องรับและส่งสัญญาณ (Transceiver) และเครื่องทวนสัญญาณ โดยเครื่องรับและส่งสัญญาณจะประกอบไปด้วย ภาคส่งและภาครับสัญญาณ โดยภาคส่งสัญญาณจะประกอบไปด้วย อุปกรณ์ควบคุมการรับส่งและแปลงข้อมูล (Microcontroller) และหลอดแอลอีดี ข้อมูลที่ต้องการส่งจากคอมพิวเตอร์จะถูกส่งผ่านสาย USB แล้วนำมาแปลงข้อมูลเป็นไบนารี่ เพื่อส่งออกผ่านหลอดแอลอีดี จากนั้นเครื่องทวนสัญญาณซึ่งประกอบด้วย โฟโต้ไดโอด อุปกรณ์ควบคุมการรับส่งและแปลงข้อมูล และหลอดแอลอีดี จะทำการรับข้อมูลที่ส่งออกจากแอลอีดีจากภาคส่งสัญญาณของเครื่องรับและส่งสัญญาณต้นทางผ่านทางโฟโต้ไดโอด และอุปกรณ์ควบคุมการรับส่งและแปลงข้อมูล จะทำการสั่งให้หลอดแอลอีดีทำการส่งข้อมูลที่รับเข้ามาออกไป จากนั้นเครื่องรับสัญญาณจะรับข้อมูลผ่านทางโฟโต้ไดโอด และอุปกรณ์ควบคุมการรับส่งและแปลงข้อมูล จะทำการแปลงข้อมูลเพื่อส่งกลับให้กับ คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้งานผ่านทางสาย USB



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของระบบ



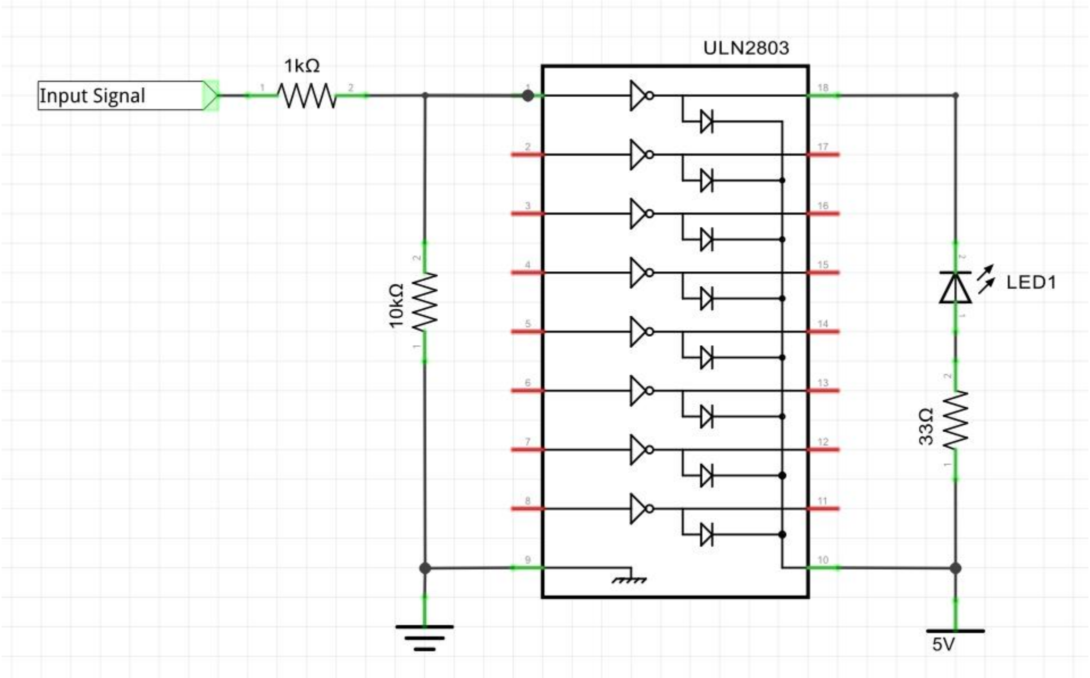
รูปที่ 3.2 กระบวนการทำงานโดยรวม

จากรูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบโดยเริ่มจากผู้ใช้งานเลือกข้อมูลหรือพิมพ์ข้อมูลที่ต้องการส่งที่โปรแกรมต้นทาง จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่าน Serial Port ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ สัญญาณจะเปลี่ยนจากสัญญาณข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณแสง โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวควบคุมในการผสมสัญญาณระหว่างสัญญาณแสงและสัญญาณข้อมูล ด้วยวิธีการมอดูเลชั่นแบบ ออน-ออฟคีย์อิ้ง ตามรหัสไบนารี่ แล้วส่งผ่านหลอดแอลอีดีไปยังช่องสัญญาณทางอากาศที่ตัวทวนสัญญาณ อุปกรณ์ตรวจจับแสงจะรับสัญญาณแล้วส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ของตัวทวนสัญญาณเพื่อประมวลผลและทำการสั่งให้หลอดแอลอีดีติดดับตามค่าที่ได้รับมาเพื่อส่งสัญญาณแสงไปยังช่องสัญญาณทางอากาศอีกครั้งหนึ่ง ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ปลายทางรับค่าจากโฟโต้ไดโอด มาประมวลผล ซึ่งเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณข้อมูลและจะส่งข้อมูลนี้ผ่าน Serial Port ให้กับผู้ใช้งาน ที่โปรแกรมปลายทางจะแสดงผลข้อมูลที่ได้รับมาซึ่งผู้ใช้งานสามารถเก็บบันทึกได้

3.3 ชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดี

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

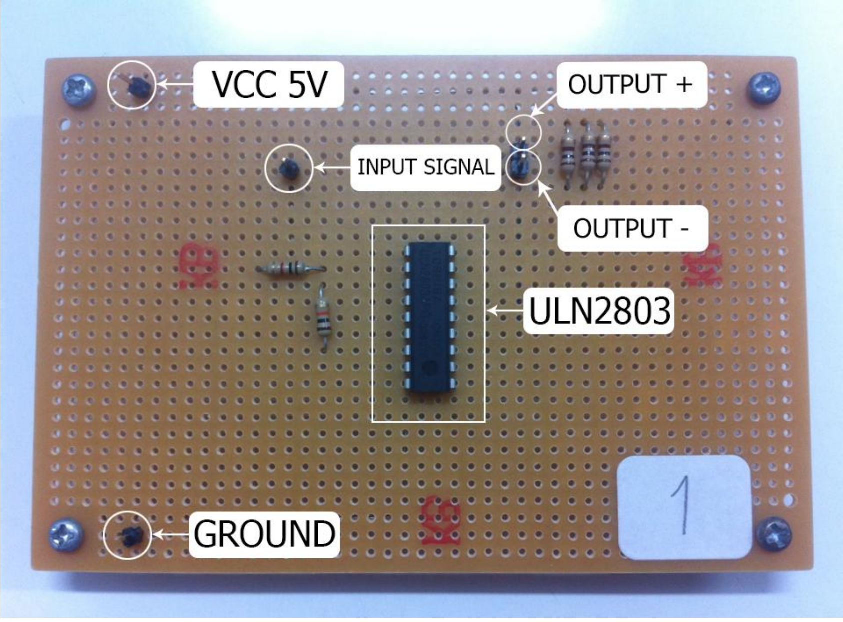
- ตัวต้านทาน 100 โอห์ม	จำนวน 3 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	จำนวน 1 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม	จำนวน 1 ชิ้น
- ไอซี ULN2803	จำนวน 1 ชิ้น
- หลอดอัลตราไบรท์แอลอีดี	จำนวน 1 หลอด
- เลนส์รวมแสง	จำนวน 1 ชิ้น



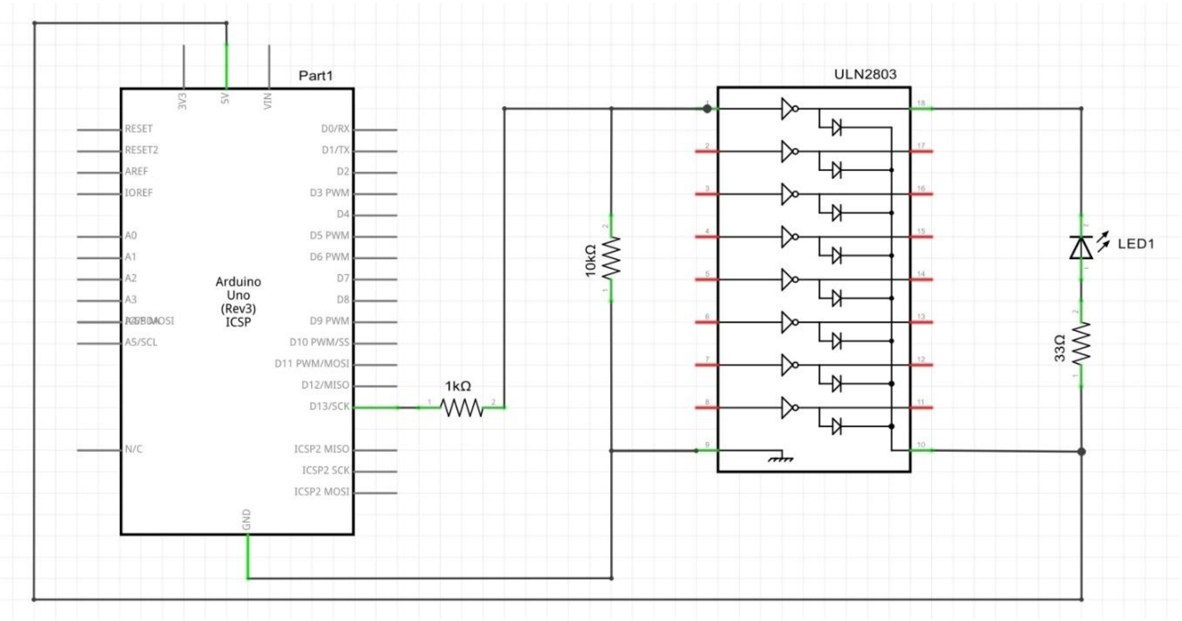
รูปที่ 3.3 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดี

3.3.2 การออกแบบวงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดี

จากรูปที่ 3.3 แสดงถึงวงจรส่งข้อมูลผ่านแสงแอลอีดีโดยไอซี ULN2803 ทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ไดรเวอร์แทนการใช้ทรานซิสเตอร์เพื่อขับหลอดแอลอีดี ไอซีจะรับสัญญาณข้อมูลซึ่งเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าที่ขา 1 และมีการ pull up ด้วยตัวต้านทาน ขาไฟด้านลบของหลอดแอลอีดีต่อเข้าที่ขา 18 ซึ่งเป็นขาเอาต์พุท (Output) ส่วนกราวน์ ไฟกระแสตรง 5 โวลต์ และ สัญญาณข้อมูลได้รับจากบอร์ด Arduino Uno Revision 3 โดยวงจรภาคส่งที่ได้ทำการออกแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

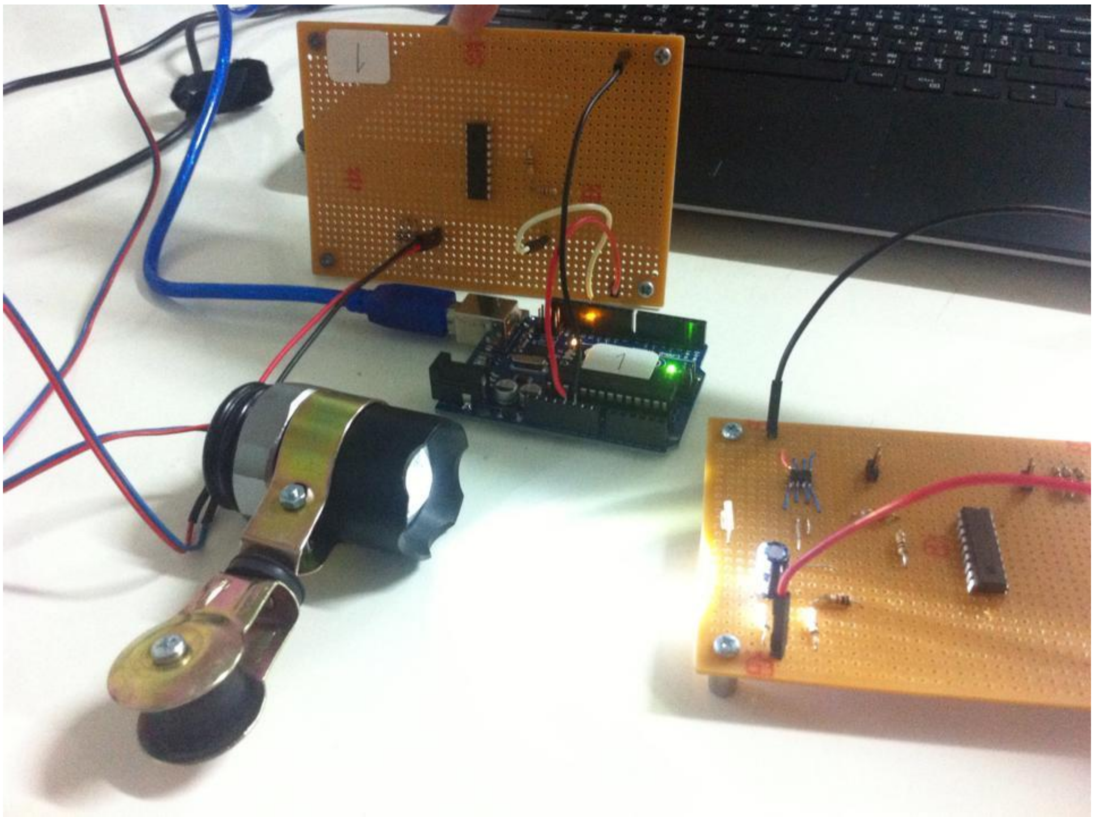


รูปที่ 3.4 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา



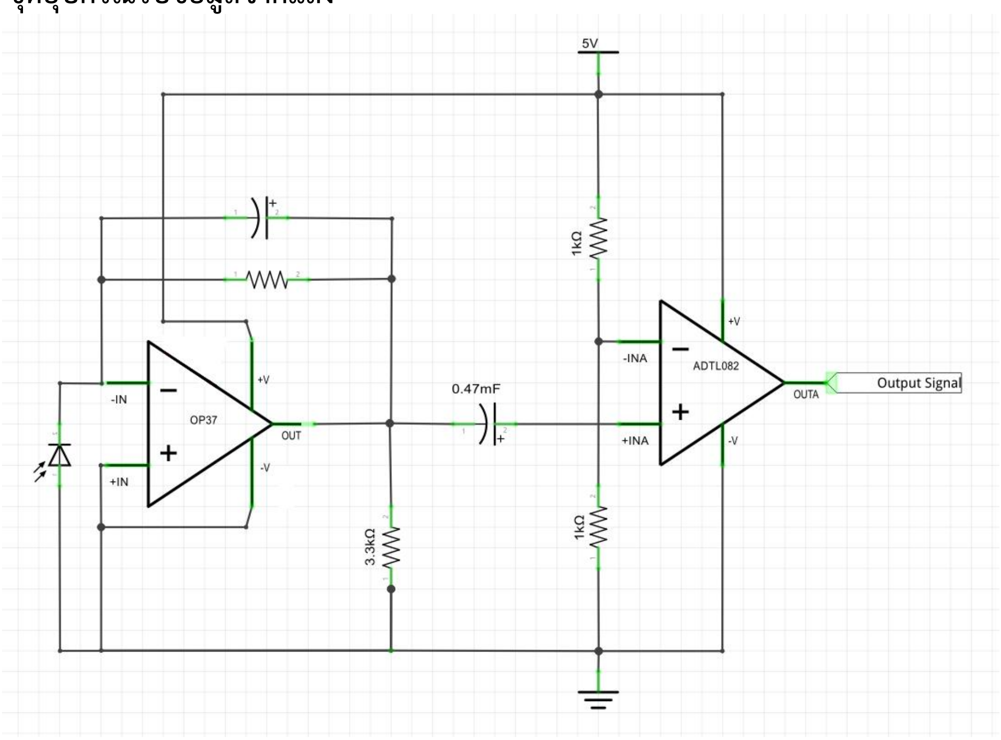
รูปที่ 3.5 วงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากแอลอีดีต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

การทดสอบจ่ายไฟ และป้อนข้อมูลเข้าสู่วงจรส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การทดสอบใช้งานวงจรภาคส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา

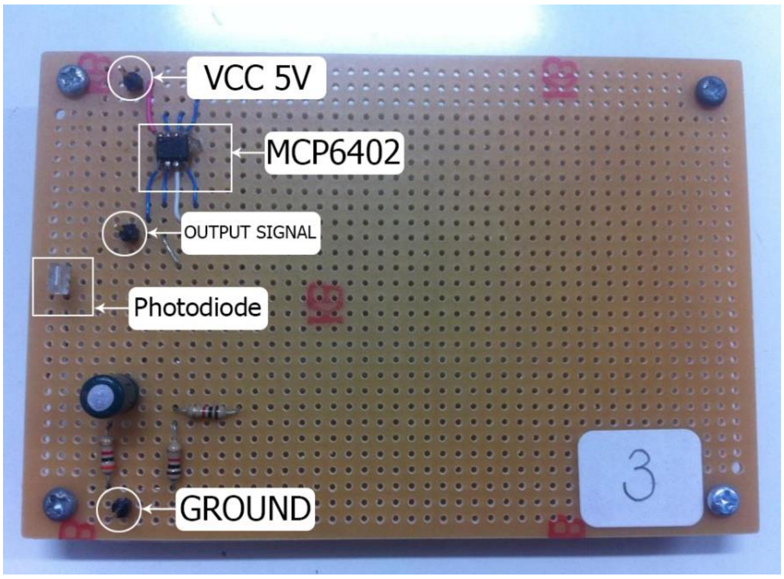
3.4 ชุดอุปกรณ์รับข้อมูลจากแสง



รูปที่ 3.7 วงจรภาครับข้อมูลแสงจากหลอด LED

3.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้

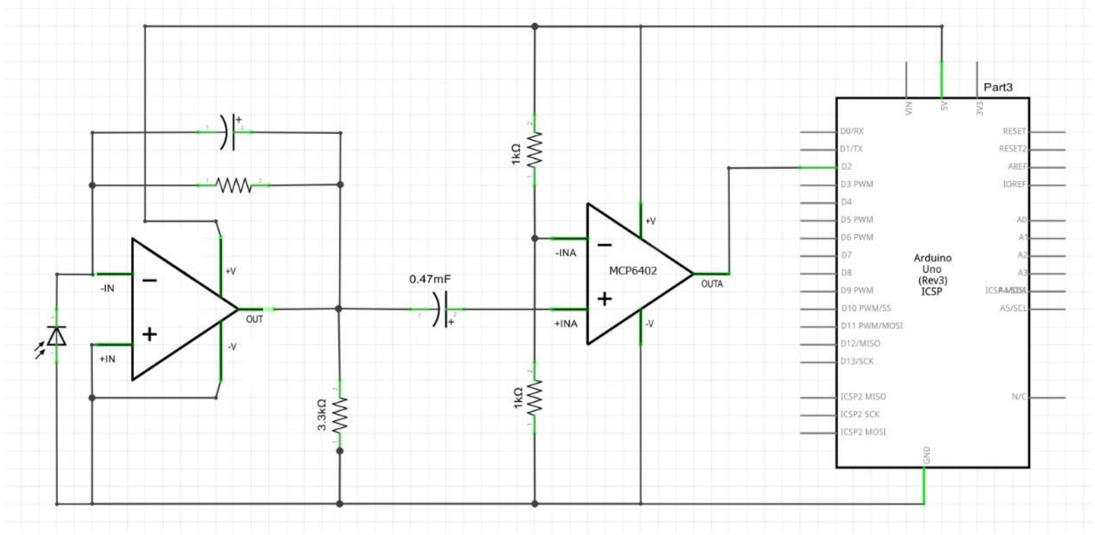
- ตัวเก็บประจุ 0.47 มิลลิฟารัด	จำนวน 1 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม	จำนวน 2 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 3.3 กิโลโอห์ม	จำนวน 1 ชิ้น
- ไอซี MCP6402	จำนวน 1 ชิ้น
- โฟโต้ไดโอด	จำนวน 1 ชิ้น



รูปที่ 3.8 วงจรภาครับข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีบนบอร์ดไข่ปลา

3.4.2 การออกแบบวงจรรับข้อมูลแสงจากหลอดแอลอีดี

จากรูปที่ 3.9 วงจรรับข้อมูลแสงจากหลอดแอลอีดี มีการออกแบบให้ใช้โฟโต้ไดโอดในการรับสัญญาณแสงเข้ามา โฟโต้ไดโอดนี้อยู่ภายในอุปกรณ์ *TSL12S-LF* ซึ่งภายในประกอบด้วย โฟโต้ไดโอด ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และออปแอม และนอกจากนี้ยังมีการใช้ไอซี MCP6402 ซึ่งเป็นไอซีขนาดเล็กภายในประกอบด้วยออปแอมสองตัว ออปแอมนี้ใช้ทำหน้าที่ในการเปรียบเทียบระดับสัญญาณและส่งสัญญาณที่ได้ให้กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno Revision 3 รวมไปถึงกราวน์และไฟกระแสตรง 5 โวลต์ ด้วย โดยวงจรตัวรับที่ได้ทำการออกแบบแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

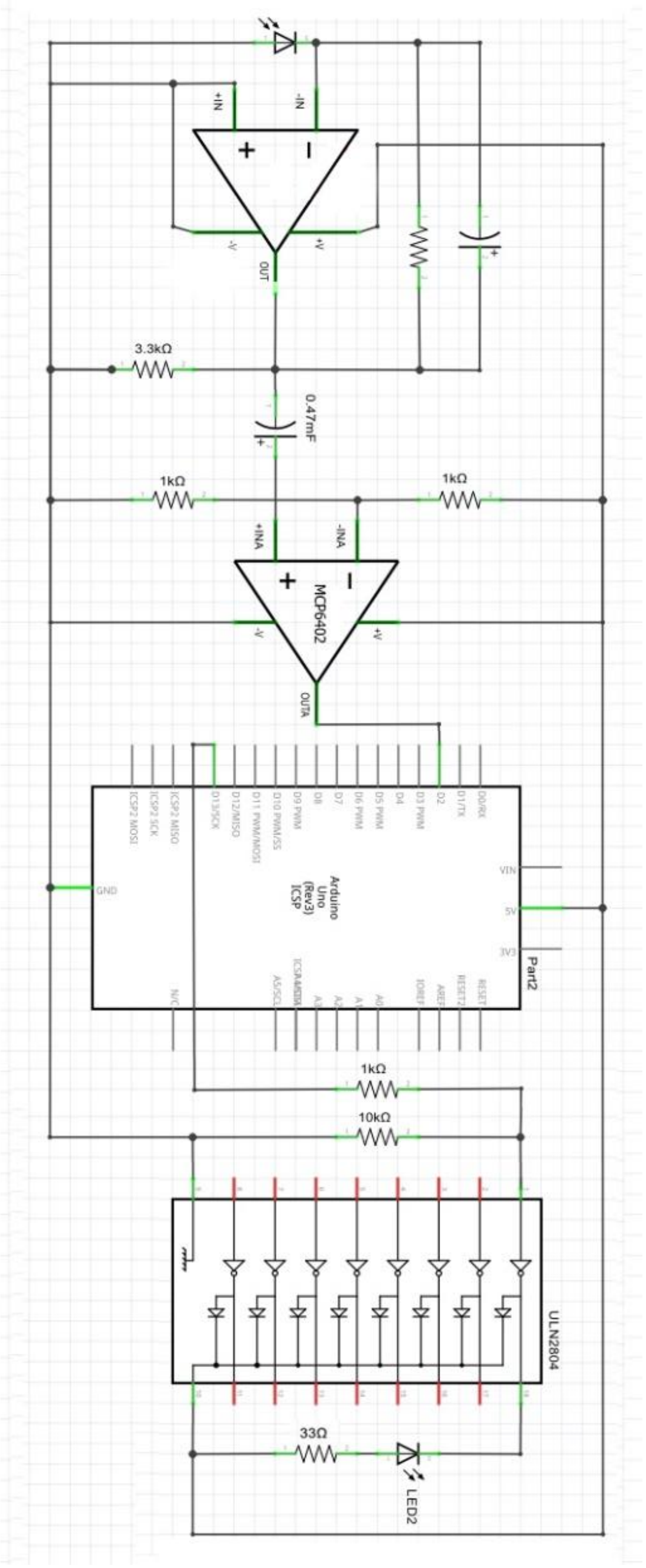


รูปที่ 3.9 วงจรภาครับข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

3.5 การรวมวงจรในภาคส่งและรับเพื่อใช้งาน

3.5.1 ส่วนของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง

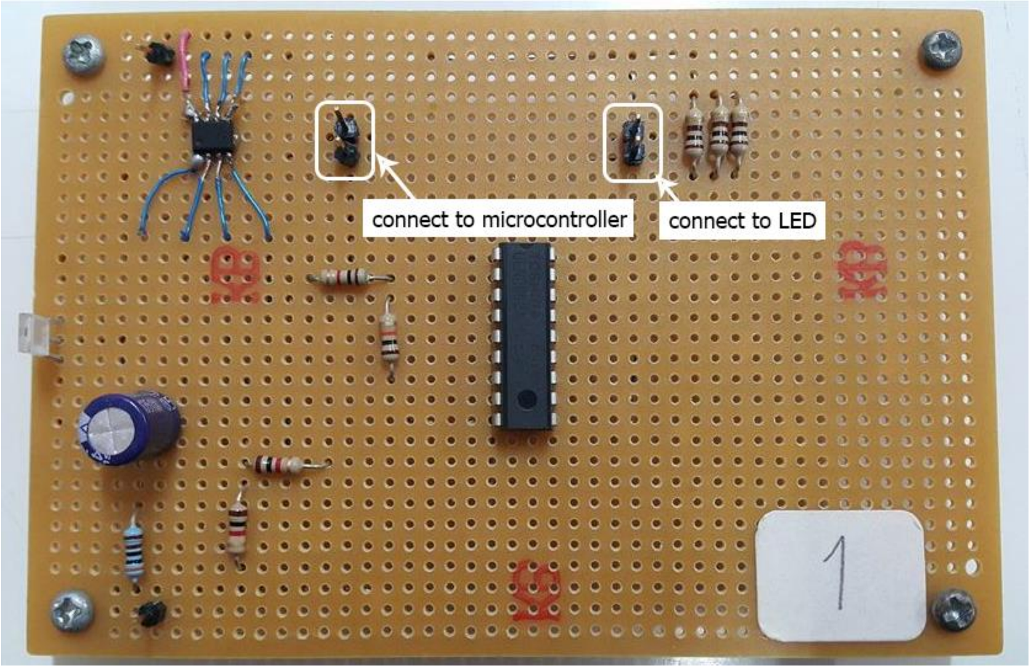
ส่วนของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทาง เราได้นำวงจรทางภาคส่งและรับมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้เป็นวงจรที่สามารถใช้งานได้แบบสื่อสาร 2 ทาง โดยเป็นการนำชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่านแสงแอลอีดี และชุดอุปกรณ์รับแสงผ่านแอลอีดีมาต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรของอุปกรณ์ต้นทาง และปลายทาง (Transceiver)

อุปกรณ์ที่ใช้

- ตัวเก็บประจุ 0.47 มิลลิฟารัด จำนวน 1 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 3.3 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ชิ้น
- ไอซี MCP6402 จำนวน 1 ชิ้น
- โฟโต้ไดโอด จำนวน 1 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 100 โอห์ม จำนวน 3 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม จำนวน 1 ชิ้น
- ไอซี *ULN2803* จำนวน 1 ชิ้น



รูปที่ 3.11 วงจรของอุปกรณ์ต้นทางและปลายทางบนบอร์ดไข่ปลา

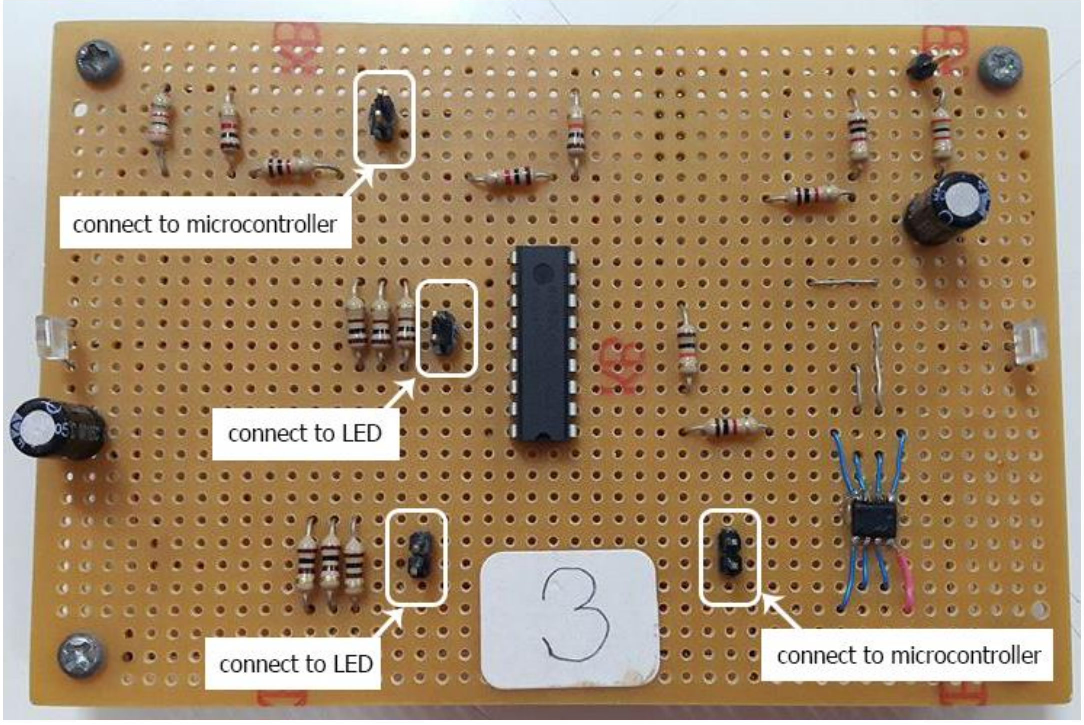
3.5.2 ส่วนของอุปกรณ์ทวนสัญญาณ

ส่วนของอุปกรณ์ทวนสัญญาณได้ทำการรวมวงจรของภาคส่งและภาครับอย่างละ สองชุดเพื่อทำหน้าที่ในการทวนสัญญาณได้ในการสื่อสารแบบ 2 ทิศทาง โดยทำการรวมวงจรเข้าด้วยกัน ซึ่งได้ต่อเข้ากับบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ตัวเดียวกัน ทั้งมีการใช้ไอซีต่างๆร่วมกันได้แก่ MCP6402 และ ULN2803 แสดงได้ดังรูป 3.12

อุปกรณ์ที่ใช้

- ตัวเก็บประจุ 0.47 มิลลิฟารัด จำนวน 2 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม จำนวน 4 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 3.3 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ชิ้น

- ไอซี MCP6402 จำนวน 1 ชิ้น
- โฟโต้ไดโอด จำนวน 2 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 100 โอห์ม จำนวน 6 ชิ้น
- ตัวต้านทาน 10 กิโลโอห์ม จำนวน 2 ชิ้น
- ไอซี ULN2803 จำนวน 1 ชิ้น



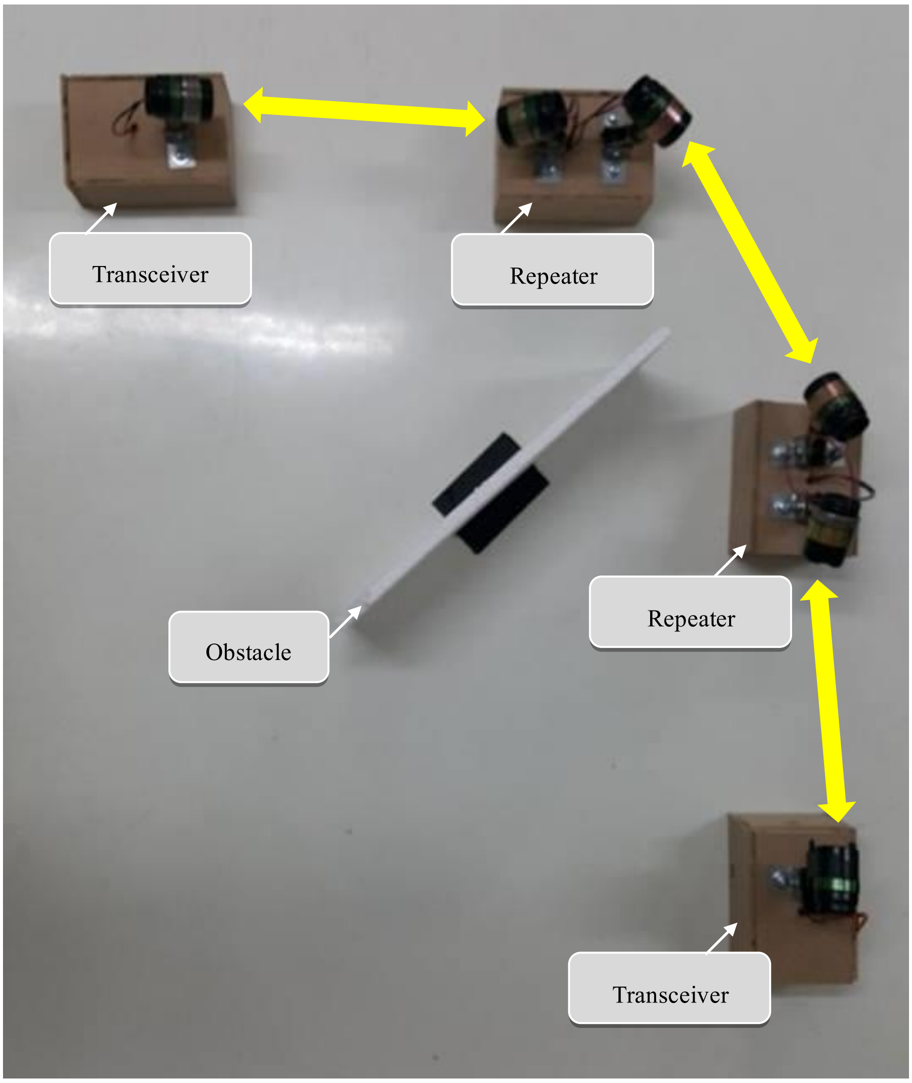
รูปที่ 3.12 วงจรของอุปกรณ์ทวนสัญญาณบนบอร์ดไข่ปลา

อุปกรณ์ทั้งส่วนของต้นทาง ปลายทาง และตัวทวนสัญญาณ เมื่อนำ มารวมกันเป็นระบบการสื่อสารแล้วนั้นจะทำให้สามารถแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดจากการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้โดยสามารถเห็นได้จาก ตัวอย่างแบบจำลองในการใช้งานที่มีสิ่งกีดขวางและต้องการสื่อสารในระยะทางที่ไกลขึ้น โดยเมื่อเราติดตั้งอุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้าไปจะทำให้สามารถแก้ไขปัญหาสิ่งกีดขวาง และข้อจำกัดในระยะทางลงได้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.13

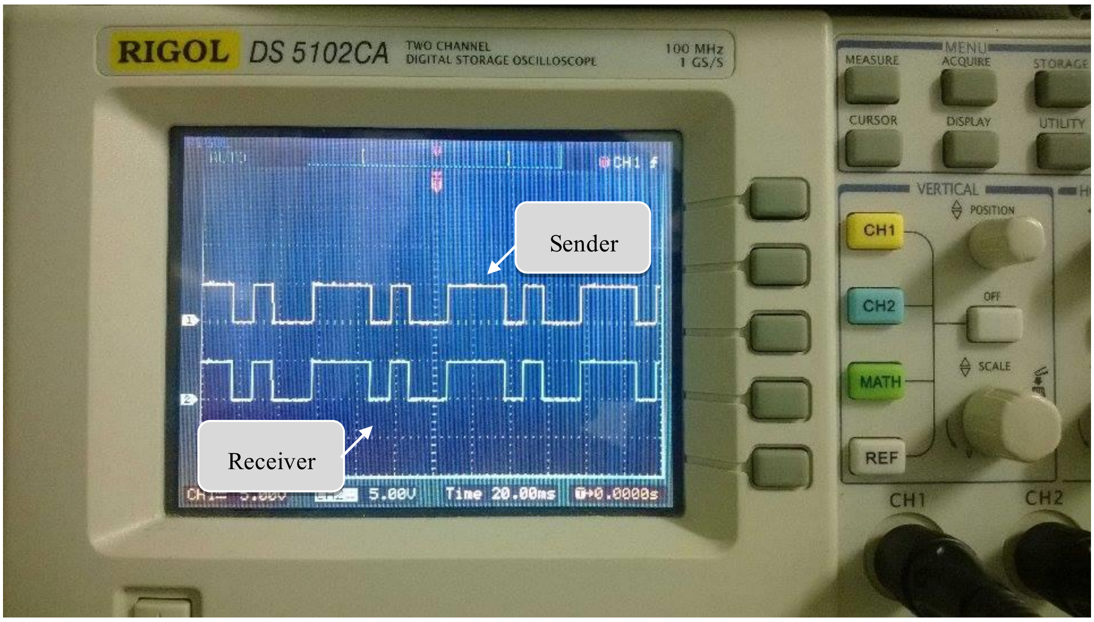
3.6 การรับส่งข้อมูลจากชุดการทดลอง

สำหรับการส่งข้อมูลโดยชุดอุปกรณ์ส่งข้อมูลผ่านแสงแอลอีดี ผู้ใช้งานจะสั่งให้มีการส่งข้อมูลตัวอักษรไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่าน Serial Port โดยโปรแกรมจะทำการเพิ่มบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้ายให้กับข้อมูลและทำการส่งตัวอักษรในรูปของเลขฐาน16 ซึ่งมีขนาด 1 ไบต์ ที่มีลักษณะข้อมูลตามตาราง ASCII ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการแปลงตัวอักษรในรูปของเลขฐาน16เป็นเลขฐาน 2 และเมื่อผ่านวงจรตัวส่งข้อมูลแสง วงจรจะทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล โดยกำหนดให้บิต 1 แทนการติดสว่างของหลอดแอลอีดี และบิต 0 แทนการดับของหลอดแอลอีดี

สำหรับการรับข้อมูลโดยชุดอุปกรณ์รับข้อมูลผ่านแสงแอลอีดี วงจรรับข้อมูลผ่านแสงแอลอีดีจะรับสัญญาณแสง และทำการส่งสัญญาณออกไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล หลังการประมวลผล ข้อมูลที่อยู่ในรูปของตัวอักษรจะถูกส่งผ่าน Serial Port เข้าโปรแกรมเพื่อแสดงผลแก่ผู้ใช้งาน การทดลองส่งข้อมูลไบนารี่ 11010011 จากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสงแสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างแบบจำลองในการใช้งานที่มีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 3.14 การทดลองส่งข้อมูลไบนารี่ 11010011 จากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง

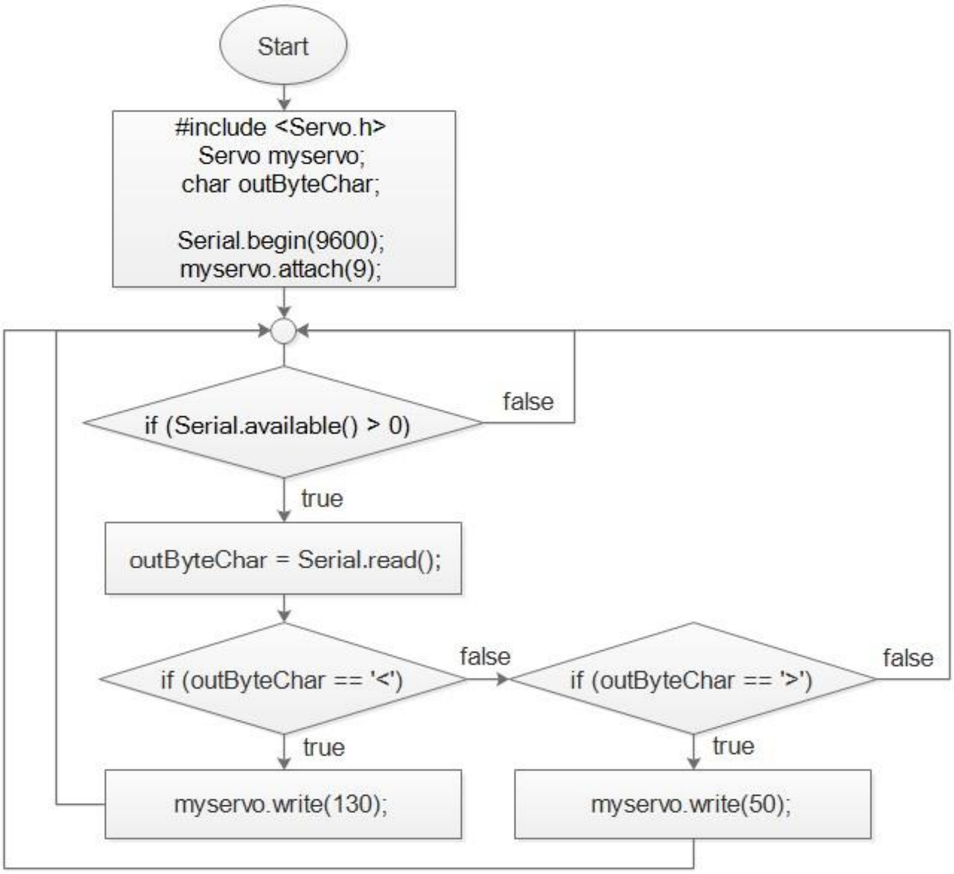
3.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์

การออกแบบการทำงานของบอร์ด Arduino Uno Revision 3

3.7.1 การควบคุมทิศทางการหมุนของ Servo

รูปที่ 3.15 เครื่องรับส่งสัญญาณต้นทางที่ติดตั้ง Servo

ในการควบคุมทิศทางการหมุนของ Servo ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่สั่ง Servo ให้หมุนตามองศาที่ระบุไว้ ซึ่งได้กำหนดไว้ 2 องศาด้วยกัน คือ 130 องศาสำหรับการหมุนไปด้านซ้ายและ 50 องศาสำหรับการหมุนไปด้านขวา โดยมีการทำงานตามผังงาน (Flowchart) ตามรูปที่ 3.16 ดังนี้



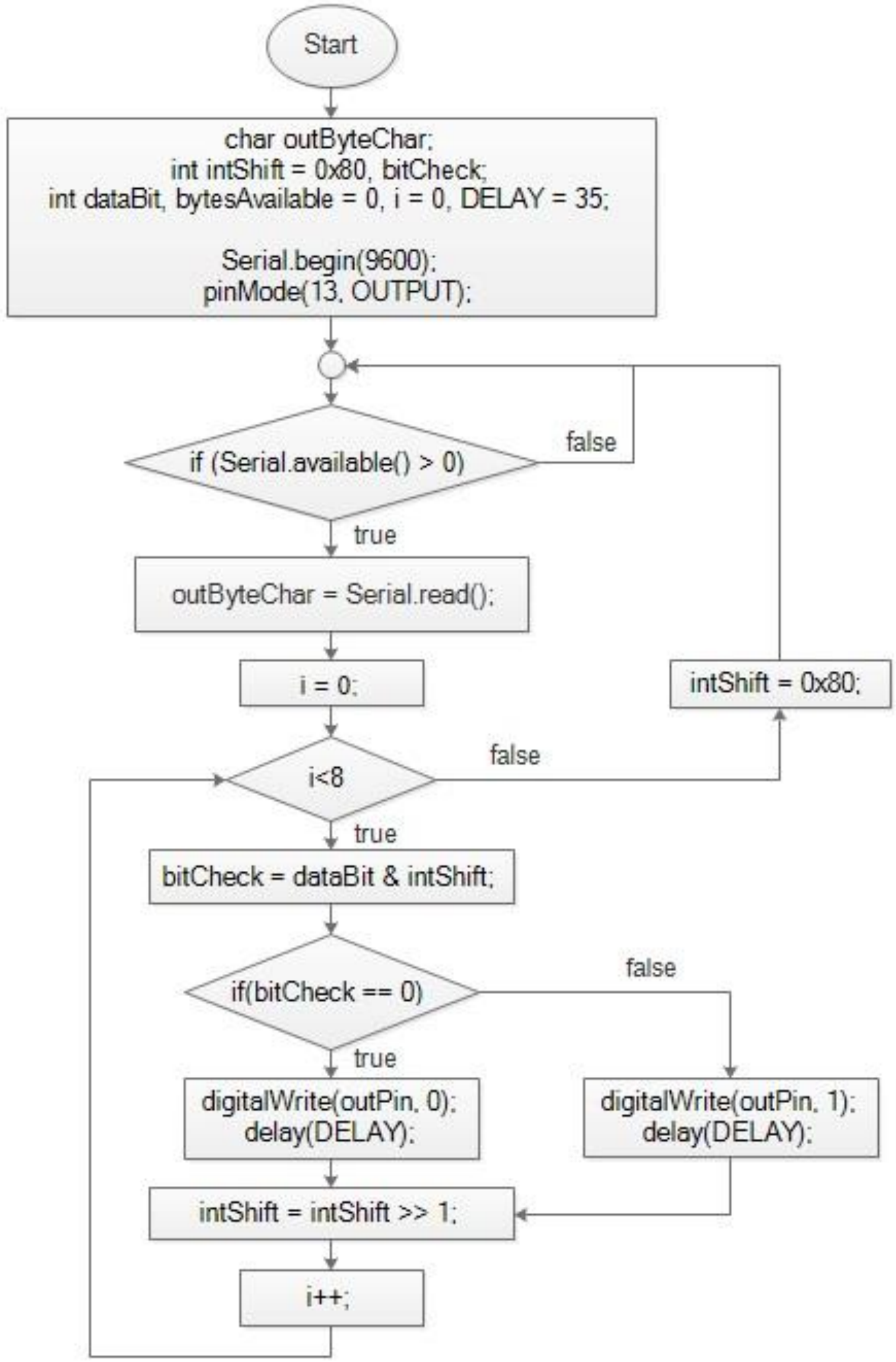
รูปที่ 3.16 Flowchart แสดงการควบคุมทิศทางการหมุนของ Servo

3.7.2 การควบคุมการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้

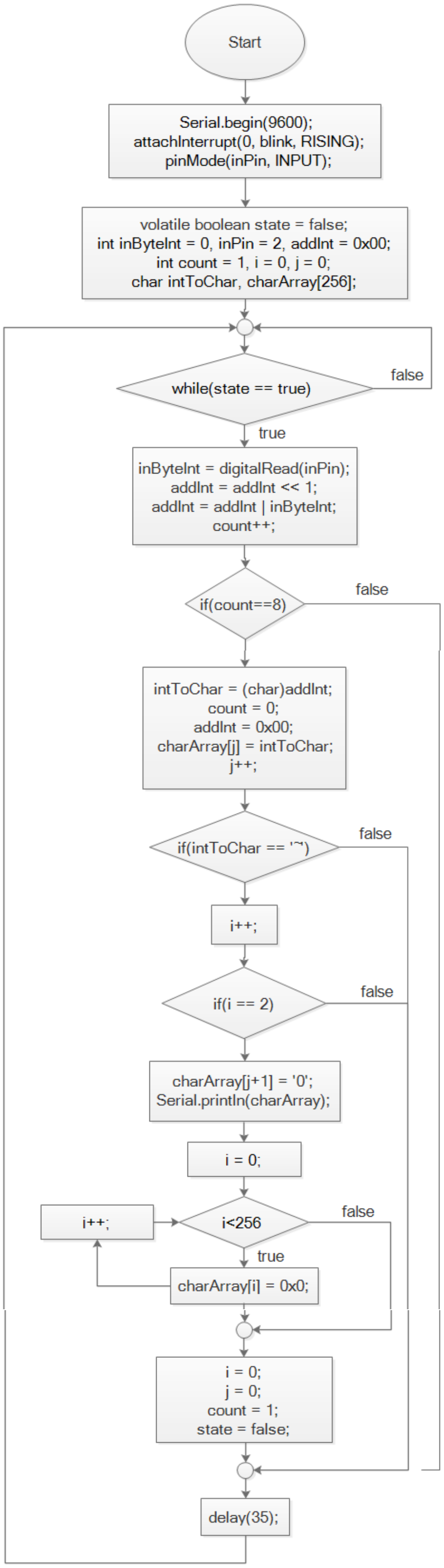
การส่งข้อมูลผ่านแสงนี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการแปลงตัวอักษรในรูปของเลขฐาน 16 ให้เป็นเลขฐาน 2 ทีละ 1 ตัวอักษร และสั่งให้หลอดไฟติดดับ โดยใช้หลักการของ ออน–ออฟ คีย์อิ้ง การเปิด – ปิดหลอดแอลอีดีหรือก็คือ กำหนดให้หลอดแอลอีดีมีการกระพริบ เปิด – ปิดที่แตกต่างกันตามข้อมูลที่ส่งออกไป กำหนดให้ บิต 1 แทนการติดสว่างของหลอดแอลอีดี และบิต 0 แทนการดับของหลอดแอลอีดี โดยมีการทำงานตามผังงาน (Flowchart) ตามรูปที่ 3.17

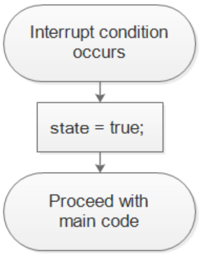
3.7.3 การควบคุมการรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้

หลักการในการรับข้อมูลคือ เมื่อมีอินเทอรัพเข้าที่ขา Digital 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ด้านรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ได้รับ โดยเมื่ออินเทอรัพมีค่าเป็นบิตเริ่มต้นที่กำหนดไว้จะเริ่มแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ได้รับให้เป็นตัวอักษรซึ่งอยู่ในรูปของเลขฐาน16 และเก็บข้อมูลลงบัฟเฟอร์ และจะหยุดเก็บข้อมูลเมื่อค่าที่ได้รับเป็นบิตปิดท้าย จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งผ่าน Serial Port เพื่อแสดงผลแก่ผู้ใช้งานโดยมีการทำงานตามผังงาน (Flowchart) ตามรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของวงจรส่งข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้





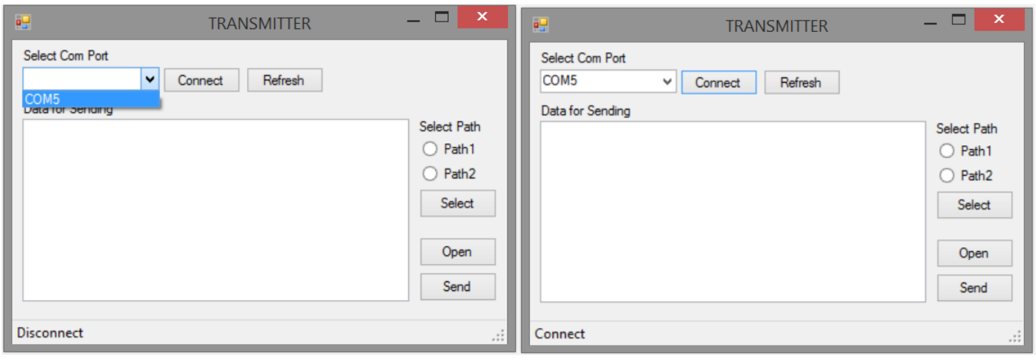
รูปที่ 3.18 Flowchart แสดงการควบคุมการทำงานของวงจรรับข้อมูลผ่านแสงที่ตามองเห็นได้

3.8 โปรแกรมติดต่อผู้ใช้งาน (User Interface)

การออกแบบโปรแกรมติดต่อผู้ใช้งานนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

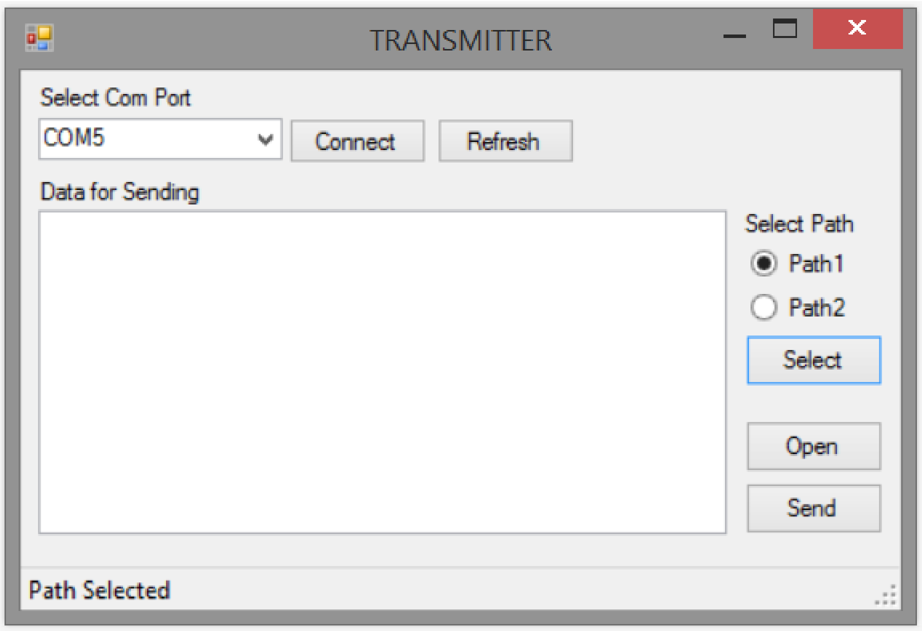
3.8.1 โปรแกรมที่ต้นทาง (Sender Interface)

ที่โปรแกรมต้นทาง ผู้ใช้งานต้องทำการเลือกพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่แถบด้านล่างจะมีการเปลี่ยนสถานะจาก Disconnect เป็น Connect เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ ดังรูปที่ 3.19



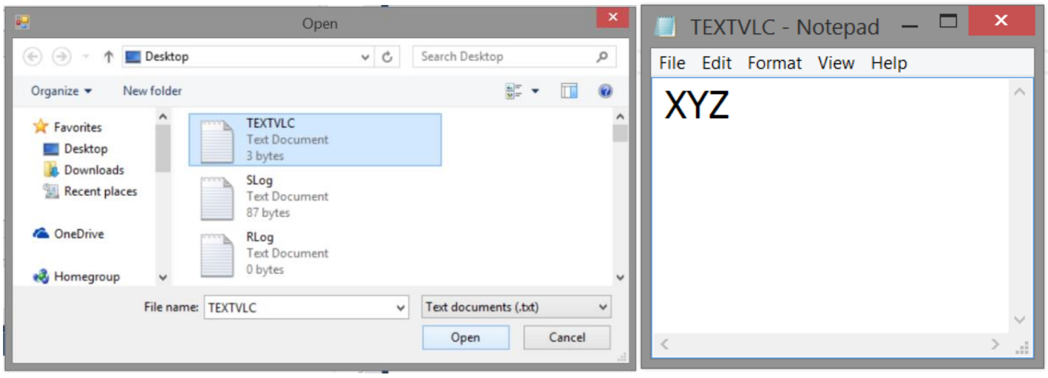
รูปที่ 3.19 การเลือกคอมพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์

สำหรับการเลือกเส้นทางการสื่อสารในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเส้นทางการสื่อสารไว้ 2 เส้นทาง คือ Path1 และ Path2 ผู้ใช้งานสามารถเลือกได้จากเมนูทางด้านขวาซึ่งการส่งในแต่ละครั้งสามารถเลือกได้เพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น ผู้ใช้งานยืนยันเส้นทางที่เลือกด้วยการกดปุ่ม Select เมื่อทำการเลือกเส้นทางสมบูรณ์ แถบสถานะด้านล่างจะแสดงข้อความ Path Selected ดังรูปที่ 3.20



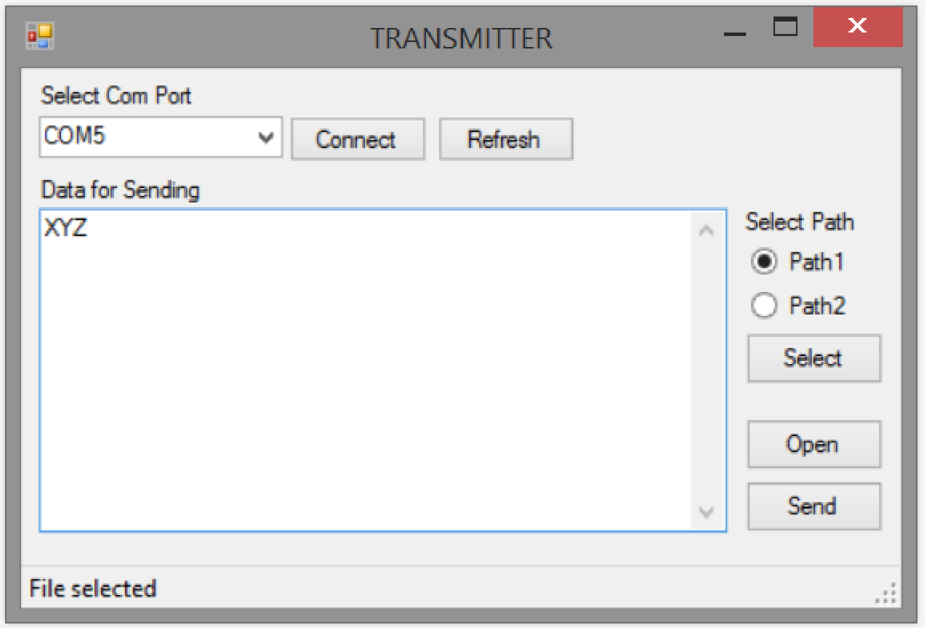
รูปที่ 3.20 การเลือกเส้นทางสำหรับการสื่อสาร

ข้อมูลที่ผู้ใช้งานต้องการส่งนั้นสามารถเลือกจากไฟล์ .txt ภายในเครื่อง โดยทำการกดปุ่ม Open หรือการพิมพ์โดยตรงที่กล่องข้อความ(Data for Sending) หลังจากกดปุ่ม Open จะมีหน้าต่างแสดงให้เลือกไฟล์ จากรูปที่ 3.21 ได้ทำการเลือกไฟล์ TEXTVLC.txt ซึ่งภายในมีข้อความ “XYZ” ดังแสดงในด้านขวาของรูปที่ 3.21



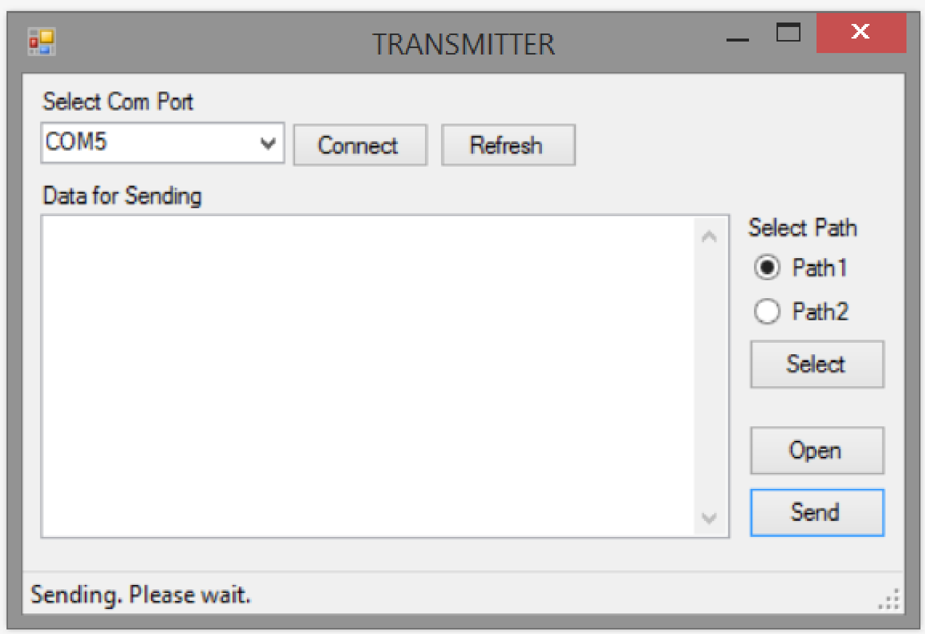
รูปที่ 3.21 การเลือกไฟล์ .txt ที่ต้องการส่ง

เมื่อทำการเลือกไฟล์แล้ว ข้อความภายในไฟล์ .txt จะปรากฏในกล่องข้อความ(Data for Sending) เพื่อรอคำสั่งในการส่ง โดยที่แถบด้านล่างจะมีการแสดงสถานะว่าได้ทำการเลือกไฟล์แล้ว (File selected) ดังแสดงในรูปที่ 3.22 และหากต้องการแก้ไขข้อความ ผู้ใช้งานสามารถแก้ไขภายในกล่องข้อความได้ก่อนการส่ง



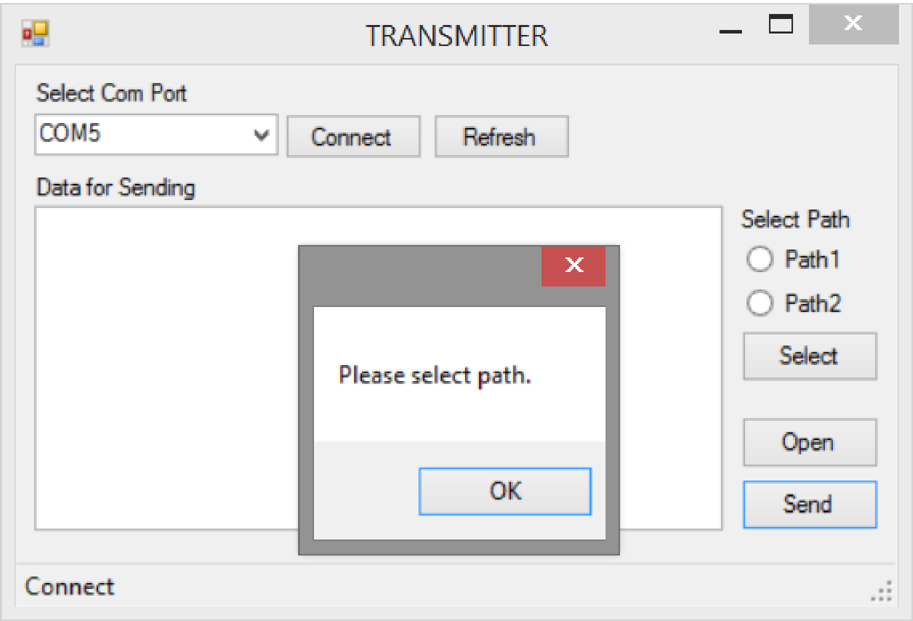
รูปที่ 3.22 การแสดงเนื้อหาของไฟล์ .txt ในกล่องข้อความ

เมื่อต้องการส่งข้อมูล ให้กดที่ปุ่ม Send โดยที่แถบด้านล่างจะมีการแสดงสถานะกำลังส่ง (Sending. Please wait.) ดังรูปที่ 3.23



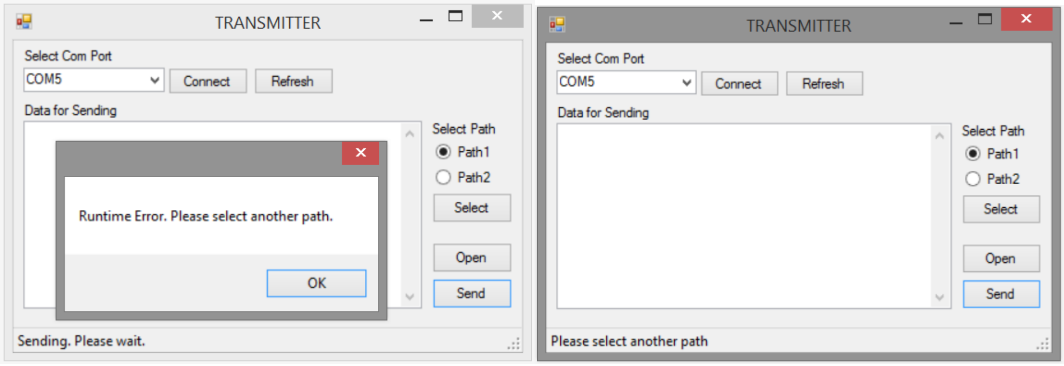
รูปที่ 3.23 ข้อมูลกำลังถูกส่งไปยังปลายทาง และรอการยืนยันการส่งที่สมบูรณ์

ถ้าหากผู้ใช้งานไม่ได้เลือกเส้นทางในการสื่อสารก่อนทำการส่ง โปรแกรมจะมีการแจ้งเตือน โดยมีหน้าต่างแสดงข้อความให้ทำการเลือกเส้นทางในการสื่อสาร (Please select path.) ดังรูปที่ 3.24



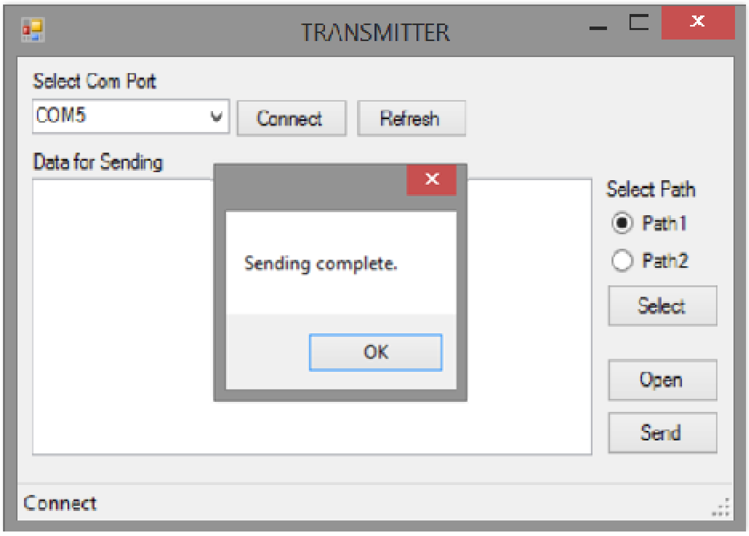
รูปที่ 3.24 หน้าต่างแจ้งเตือนเมื่อไม่มีการเลือกเส้นทางก่อนการส่ง

เมื่อเลือกเส้นทางในการส่งแล้ว หากเส้นทางนั้นไม่สามารถติดต่อไปยังปลายทางได้ในเวลาที่กำหนด โปรแกรมจะมีการแสดงหน้าต่างแจ้งเตือนเพื่อให้ทำการเปลี่ยนเส้นทางในการสื่อสาร (Runtime Error. Please select another path.) ดังรูปที่ 3.25



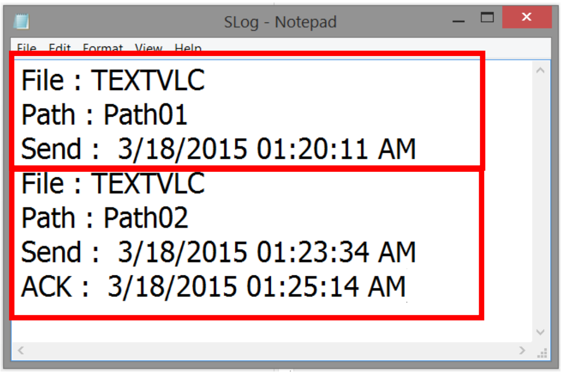
รูปที่ 3.25 หน้าต่างแสดงการส่งที่ไม่สมบูรณ์

เมื่อทำการเปลี่ยนเส้นทางการสื่อสารให้สามารถสื่อสารกันได้สมบูรณ์ โปรแกรมจะมีหน้าต่างเพื่อบอกการส่งเสร็จสิ้น (Sending complete.) ดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 หน้าต่างแสดงการส่งที่สมบูรณ์

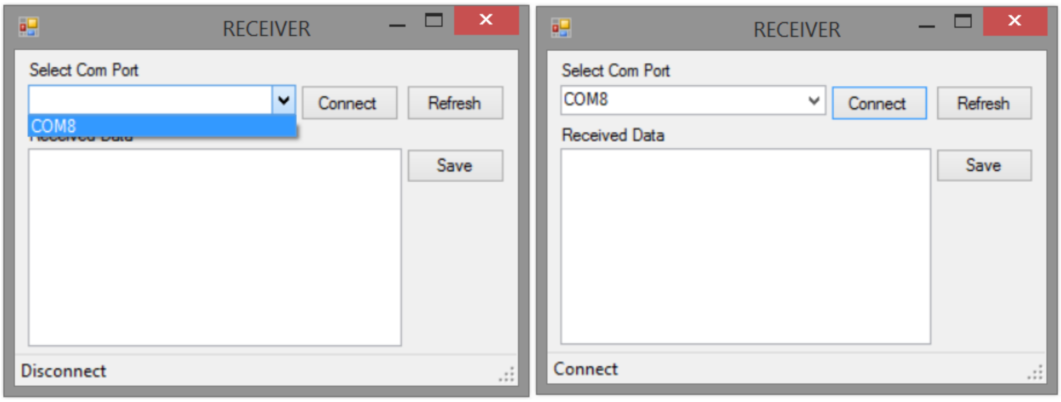
นอกจากนี้ ยังมีส่วนของไฟล์ SLog.txt ที่เก็บข้อมูลของการส่ง ประกอบด้วย ชื่อไฟล์ เส้นทางที่ส่ง เวลาที่ส่ง และเวลาที่ได้รับการยืนยันการส่งสมบูรณ์ โดยข้อมูลเหล่านี้จะเก็บทั้งการส่งที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.27 ข้อความด้านบนเป็นส่วนที่ส่งข้อมูลไม่สมบูรณ์ ซึ่งจะไม่มีบรรทัด ACK และส่วนด้านล่างเป็นส่วนที่ส่งข้อมูลสมบูรณ์



รูปที่ 3.27 ไฟล์ Slog.txt เก็บข้อมูลการส่งทั้งที่ส่งสมบูรณ์และไม่สมบูรณ์

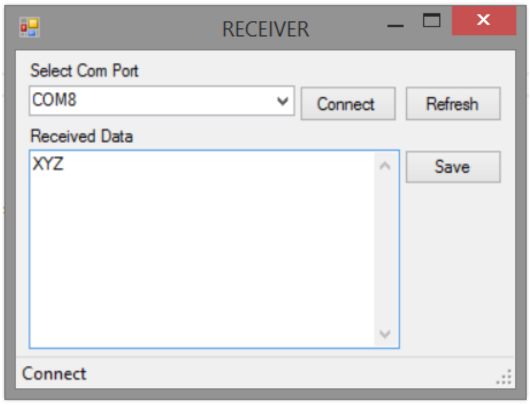
3.8.2 โปรแกรมที่ปลายทาง (Receiver Interface)

ที่โปรแกรมปลายทาง ผู้ใช้งานต้องเลือกพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยที่แถบด้านล่างจะมีการเปลี่ยนสถานะจาก Disconnect เป็น Connect เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จ ดังรูปที่ 3.28



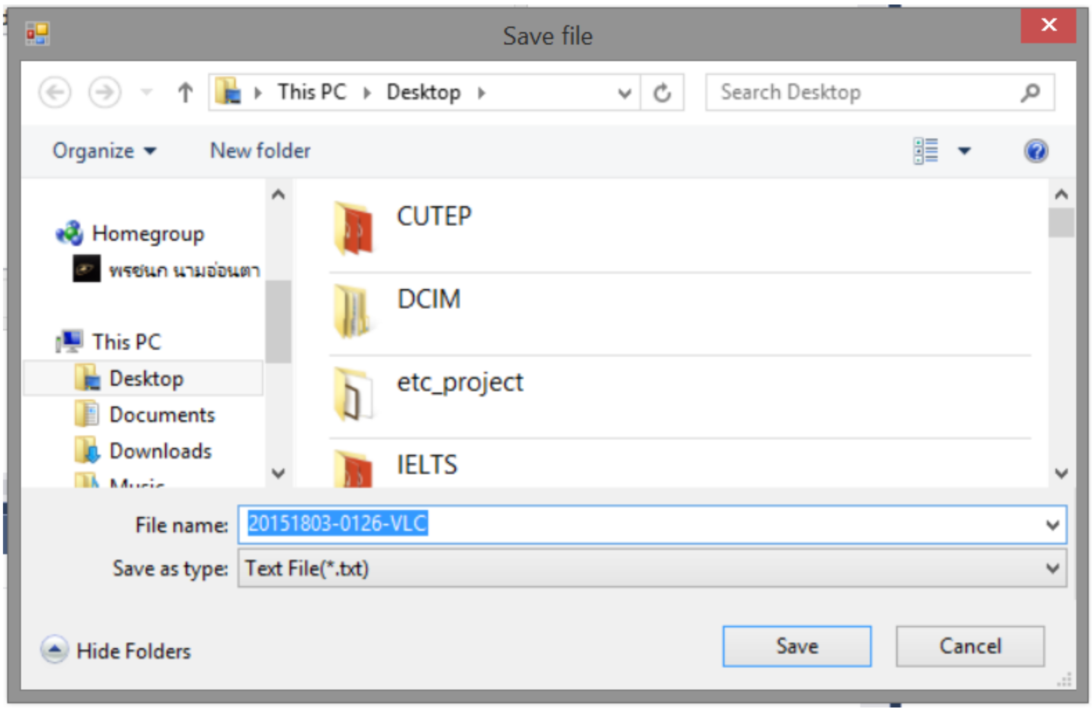
รูปที่ 3.28 การเลือกคอมพอร์ทสำหรับการเชื่อมต่อ

ข้อมูลที่ได้รับจากบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งผ่านการประมวลผลแล้วจะถูกส่งผ่านพอร์ท USB และแสดงผลในกล่องข้อความ (Received Data) โดยในที่นี้ได้ทำการรับข้อมูลมาเป็นตัวอักษร “XYZ” ดังรูปที่ 3.29



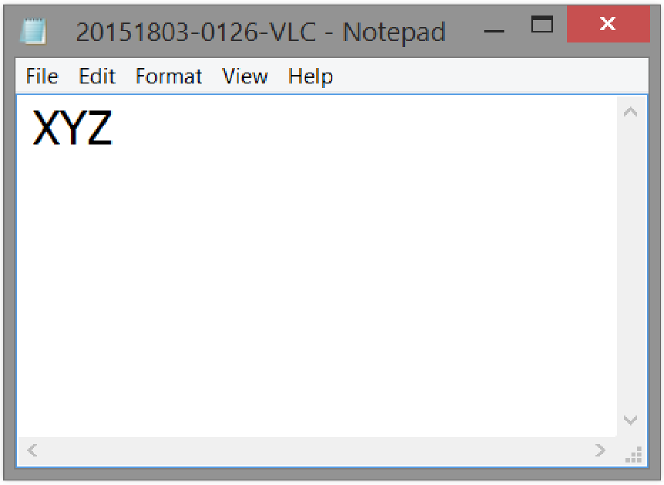
รูปที่ 3.29 โปรแกรมแสดงข้อมูลที่ได้รับ

ผู้ใช้งานสามารถบันทึกข้อมูลเก็บไว้ในเครื่องโดยการกดปุ่ม Save เมื่อกดปุ่มจะมีหน้าต่างให้เลือกตำแหน่งที่ต้องการจัดเก็บไฟล์ และสามารถแก้ชื่อไฟล์จากเดิมที่โปรแกรมตั้งไว้ได้ ดังรูปที่ 3.30



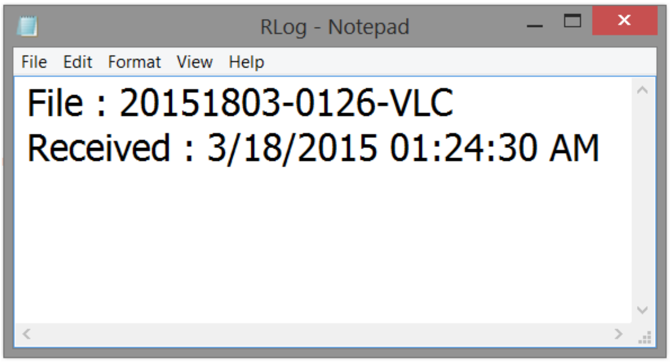
รูปที่ 3.30 ตั้งชื่อไฟล์และเลือกตำแหน่งเพื่อบันทึกข้อมูล

ผู้ใช้งานสามารถเรียกไฟล์ .txt ที่ถูกบันทึกไว้ในเครื่อง (20151803-0126-VLC.txt) มาแสดงได้ดังรูปที่ 3.31



รูปที่ 3.31 ข้อมูลภายในไฟล์ที่ได้ทำการบันทึก

ผู้ใช้งานสามารถเช็คการรับข้อมูลผ่านไฟล์ Rlog.txt ซึ่งเก็บข้อมูลของการรับ ประกอบไปด้วย ชื่อไฟล์ และเวลาของการรับข้อมูล ดังรูปที่ 3.32



รูปที่ 3.32 ไฟล์ Rlog.txt เก็บข้อมูลการรับ

บทที่ 4
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 บทนำ

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของผลการทดลองประสิทธิภาพการทำงานของชิ้นงานที่สร้างขึ้น รวมไปถึงประสิทธิภาพของชิ้นงานที่ได้ โดยมีการแบ่งการทดลองเป็น 4 ส่วนดังนี้

1. การทดลองส่งข้อมูลตัวอักษรจากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง
2. การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูล
3. การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ
4. การทดลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเข้มแสง และบริเวณที่แสงตกกระทบ
5. การทดลองการสื่อสารแบบหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

4.2 การทดลองส่งข้อมูลตัวอักษรจากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง

4.2.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

สำหรับในหัวข้อนี้จะทำการทดลองโดยการส่งข้อมูลเป็นตัวอักษรเพื่อให้หลอดไฟแอลอีดีทำการส่งข้อมูลเป็นแสงออกมาในรูปของบิต ตามตาราง ASCII

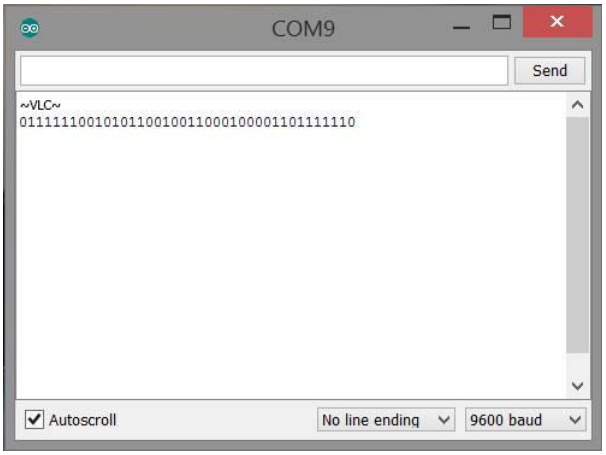
4.2.2 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องรับและส่งสัญญาณ	จำนวน 2 เครื่อง
- ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) ใช้เพื่อวัดค่าสัญญาณพัลส์ (Pulse)	จำนวน 1 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์	จำนวน 2 เครื่อง
- โปรแกรมรับส่งข้อมูล	
- โปรแกรม Arduino IDE	

4.2.3 วิธีการทดลอง

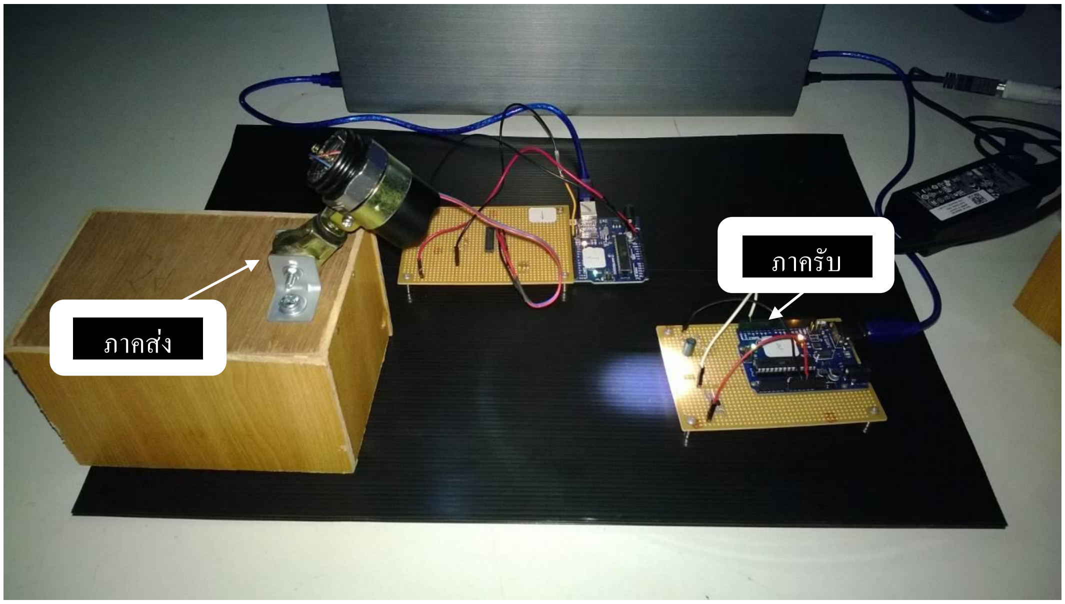
การทดลองเริ่มจากเปิดโปรแกรมเพื่อเรียกอ่านไฟล์ที่เป็น .txt ขึ้นมาอ่าน และส่งตัวอักษรที่อ่านมาได้พร้อมกับตัวอักษรเริ่มต้นและปิดท้ายเพื่อเป็นบิตเริ่มต้นและปิดไปยังไมโครคอนโทรเลอร์ทำการแปลงค่าให้เป็นบิตตามตาราง ASCII แล้วจึงสั่งให้หลอดแอลอีดีทำการกระพริบโดยกำหนดให้ บิต 1 แทนการติดสว่างของหลอดแอลอีดี และบิต 0 แทนการดับของหลอดแอลอีดี และความถี่ในการการกระพริบจะขึ้นอยู่กับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูล (Baud rate) และการหน่วงเวลาของไมโครคอนโทรเลอร์ จากนั้นทำตรวจสอบการแปลงค่าจากตัวอักษรเป็นบิต และการวัดสัญญาณข้อมูลที่วงจรส่งสัญญาณแสงและวงจรรับสัญญาณแสงโดยใช้อุปกรณ์ Oscilloscope แสดงสัญญาณออกมาเป็นสัญญาณ Pulse เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของสัญญาณข้อมูลที่วงจรรับสัญญาณแสง ซึ่งการทดลองส่งข้อมูลตัวอักษรจากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสงและรูปสัญญาณจากวงจรส่งสัญญาณแสงและวงจรรับสัญญาณแสงหลังทดลองส่งข้อมูลแล้วใช้อุปกรณ์ Oscilloscope จับสัญญาณแสดงดังรูปที่ 4.1 ,4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

จากการทดลองได้ทำการส่งข้อความ “VLC” โดยในโปรแกรม Arduino IDE บรรทัดแรกกำหนดให้แสดงผลในลักษณะข้อความที่มีเครื่องหมาย ‘~’ อยู่หัวและท้ายของของความเพื่อเป็นการเริ่มต้นการรับ และหยุดรับข้อความ ในบรรทัดถัดไป เป็นการแสดงผลในรูปแบบของเลขไบนารี่ตามตาราง ASCII แสดงดังรูปที่ 4.1



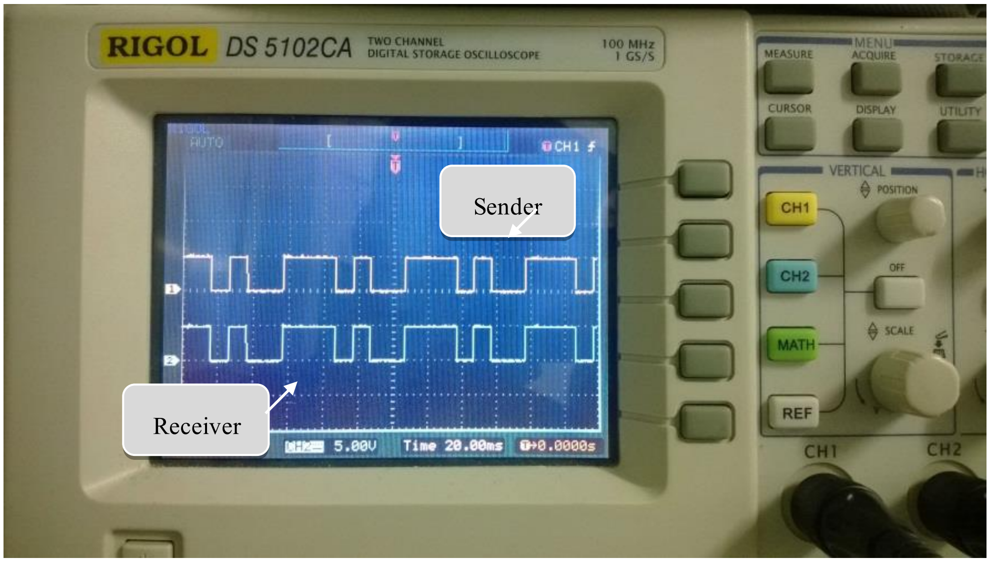
รูปที่ 4.1 รูปการทดลองแปลงค่าจากตัวอักษรเป็นบิต ตามตาราง ASCII

จากการทดลองนี้ ได้ทำการแบ่งอุปกรณ์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือภาคส่ง และภาครับ โดยภาคส่งทำการส่งข้อมูลผ่านหลอดแอลอีดีไปยังภาครับ ซึ่งข้อมูลที่ส่งนี้ผ่านการมอดดูเลชั่นแบบออน – ออฟคีย์อิ้ง และในส่วนของภาครับจะรับข้อมูลสัญญาณแสงผ่านโฟโต้ไดโอด แล้วส่งต่อไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและส่งข้อมูลต่อไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port) เพื่อแสดงผล ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การทดลองส่งข้อมูลผ่านแสงจากหลอดแอลอีดีไปยังวงจรรับสัญญาณแสง

ในการทดลองนี้ได้ใช้ออสซิลโลสโคปในการวัดสัญญาณทั้งด้านภาคส่งและภาครับเพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการส่งข้อมูล โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดแสดงในรูปที่ 4.3 โดยสัญญาณด้านบน คือในส่วนของภาคส่งและสัญญาณด้านล่าง คือในส่วนของภาครับ



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณจากวงจรส่งสัญญาณแสงและวงจรรับสัญญาณแสง

4.2.4 สรุปผลการทดลองส่งข้อมูลตัวอักษรจากหลอดแอลอีดีไปยังอุปกรณ์รับสัญญาณแสง

จากการทดลอง พบว่าสามารถแปลงตัวอักษรเป็นบิตตามตาราง ASCII ได้อย่างถูกต้อง และสัญญาณที่วัดจากวงจรส่งสัญญาณแสงและสัญญาณจากวงจรรับสัญญาณแสงมีลักษณะของสัญญาณที่เหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวงจรรับสัญญาณแสงสามารถรับสัญญาณข้อมูลจากหลอดแอลอีดีได้ถูกต้อง

4.3 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูล

4.3.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

สำหรับในหัวข้อสำหรับในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองส่งข้อมูลผ่านหลอดไฟแอลอีดี โดยมีเลนส์ปรับขยายเป็นส่วนเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูล โดยถูกควบคุมการส่งข้อมูลด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Uno โดยจะมีการกำหนดให้ส่งเป็นบิตในการติดดับในการส่งข้อมูลเพื่อหาระยะทางสูงสุดที่สามารถสื่อสารกันได้ระหว่างจุดต่อจุด

4.3.2 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องรับและส่งสัญญาณ	จำนวน 2 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์	จำนวน 2 เครื่อง
- ตลับเมตร	จำนวน 1 อัน
- โปรแกรมรับส่งข้อมูล	
- โปรแกรม Arduino IDE	

4.3.3 วิธีการทดลอง

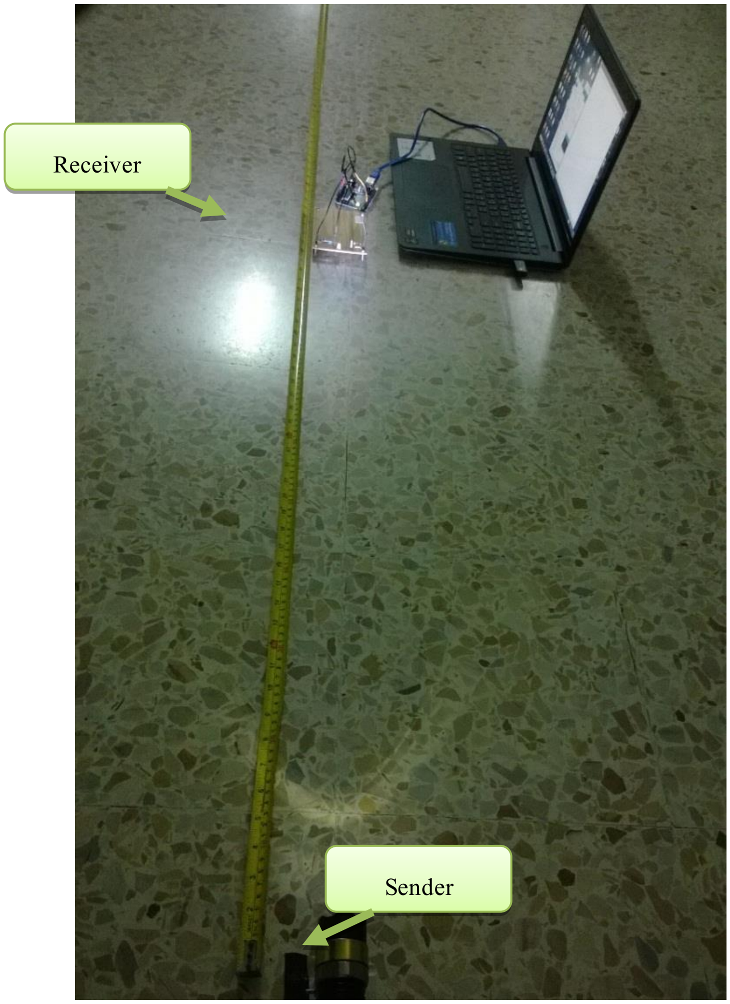
การทดลองเริ่มจากเปิดโปรแกรมรับส่งข้อมูล เพื่อทำการส่งข้อมูลแสงผ่านภาคส่งของเครื่องรับส่งสัญญาณและรับ โดยได้มีการปรับระยะทางตั้งแต่ 1 เมตร ดังรูปที่ 4.4 และเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจนภาครับของเครื่องรับส่งสัญญาณไม่สามารถรับข้อมูลได้โดยทำการวัดในแนวตรง

4.3.4 ผลการทดลอง

ผลการทดลองวัดระยะจากภาคส่งไปยังภาครับแสดงดังตารางที่ 4.1

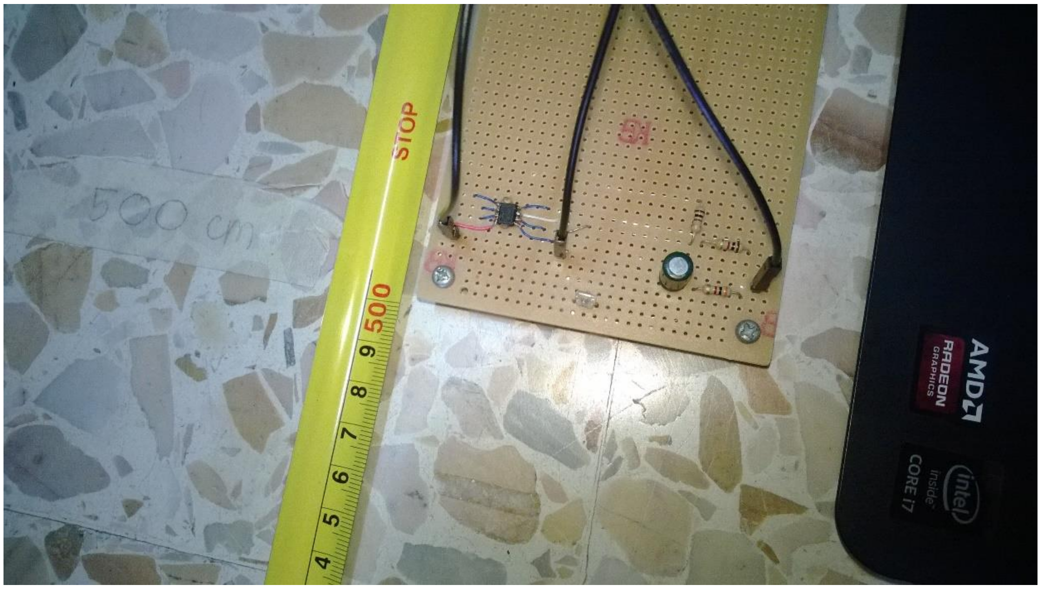
ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดลองระยะทางที่สามารถรับข้อมูลได้

ระยะห่างระหว่างหลอด LED กับอุปกรณ์รับสัญญาณ (เมตร)	**การรับข้อมูล**
1	สามารถรับข้อมูลได้
3	สามารถรับข้อมูลได้
5	สามารถรับข้อมูลได้
6	ไม่สามารถรับข้อมูลได้



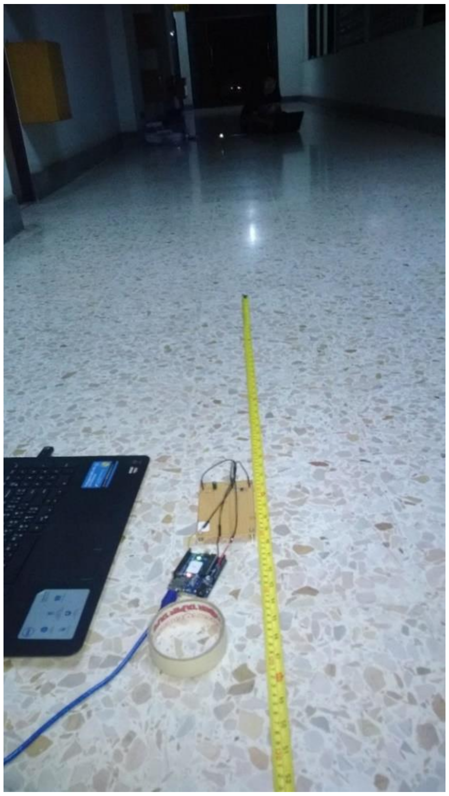
รูปที่ 4.4 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 1 เมตร

ในการทดลองได้ทำการเลื่อนระยะในการรับส่งข้อมูลไปเรื่อยๆ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร

ในการทดลองสามารถหาระยะสูงสุดที่สามารถสื่อสารได้ที่ 5.90 เมตร แสดงดังรูปที่ 4.6 และ4.7



รูปที่ 4.6 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร 90 เซนติเมตร

รูปที่ 4.7 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลผ่านแสงที่ระยะ 5 เมตร 90 เซนติเมตร

4.3.5 สรุปผลการทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูล

จากการทดลอง สามารถรับส่งข้อมูลผ่านแสงจากฝั่งส่งไปฝั่งรับได้ในระยะภายใน 5 เมตร อย่างถูกต้องแม่นยำ โดยมีระยะทางที่มากที่สุดที่สามารถรับสัญญาณทางแสงได้สูงสุดที่ 5.90 เมตร โดยต้องมีการปรับทิศทางที่เหมาะสมเพื่อทำการส่งและรับสัญญาณ

4.4 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ

4.4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

การทดลองเริ่มจากเปิดโปรแกรมเพื่อเรียกอ่านไฟล์ที่เป็น .txt ขึ้นมาอ่าน และส่งตัวอักษรที่อ่านมาได้พร้อมกับตัวอักษรเริ่มต้นและปิดท้ายเพื่อเป็นสำหรับในหัวข้อสำหรับในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองส่งข้อมูลผ่านเครื่องทวนสัญญาณเพื่อวัดระยะทางในแต่ละช่วงของการสื่อสาร โดยจะนำเครื่องทวนสัญญาณมาต่อกัน 2 เครื่อง เมื่อรวมกับอุปกรณ์ปลายทางแล้วจะมี 4 ชุดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการส่งข้อมูลผ่านเครื่องทวนสัญญาณ

4.4.2 อุปกรณ์ที่ใช้

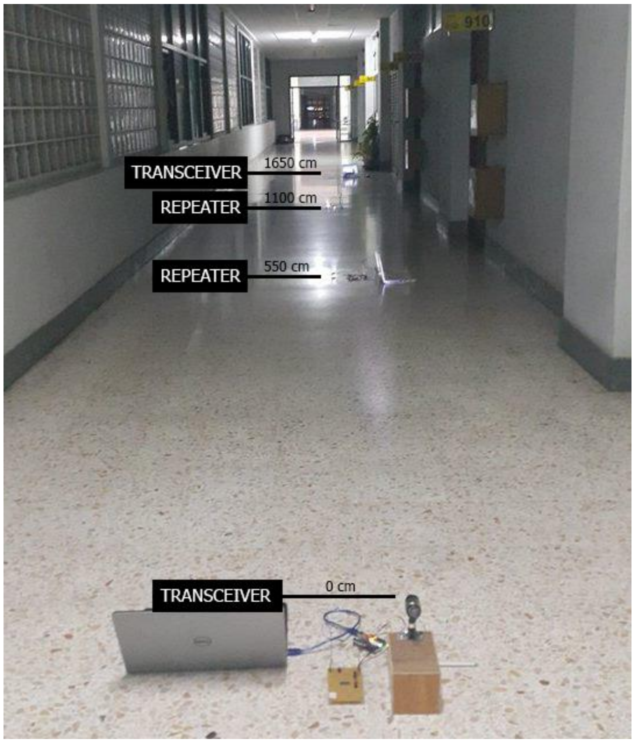
- เครื่องรับและส่งสัญญาณ	จำนวน 2 เครื่อง
- เครื่องทวนสัญญาณ	จำนวน 2 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์	จำนวน 2 เครื่อง
- แบตเตอรี่	จำนวน 2 ชุด
- โปรแกรมรับส่งข้อมูล	
- โปรแกรม Arduino IDE	

4.4.3 วิธีการทดลอง

การทดลองทำโดยการส่งข้อมูลจากเครื่องรับส่งสัญญาณต้นทาง ผ่านเครื่องทวนสัญญาณ 2 เครื่อง ไปยังเครื่องรับส่งปลายทาง โดยมีการตั้งระยะห่างระหว่างเครื่องที่ 5.50 เมตร โดยหากเครื่องรับส่งสัญญาณปลายทางสามารถรับข้อมูลได้จะทำการส่งสัญญาณตอบกลับ (ACK) มายังเครื่องส่งแสดงดังรูปที่ 4.8

4.4.4 ผลการทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ

จากการทดลอง พบว่าเมื่อเราทำการส่งข้อมูลออกทางฝั่งส่งไปสู่ฝั่งรับโดยผ่านชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณ 2 ชุด ผลคือสามารถรับข้อมูลได้อย่างถูกต้อง โดยในการทดลองระยะในแต่ละช่วงของชุดอุปกรณ์มีระยะที่เท่าหัน ซึ่งจากการทดลองได้ทำการเว้นระยะในแต่ละช่วงด้วยระยะที่ 5.50 เมตร เนื่องจากผลจากการทดลองที่ 4.3 ได้แสดงให้เห็นถึงระยะสูงสุดที่สามารถรับส่งสัญญาณที่ 5.90 เมตร จึงทำการทดลองที่ระยะดังกล่าว



รูปที่ 4.8 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ

4.4.5 สรุปผลการทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ

จากผลการทดลอง ระยะทางระหว่างชุดอุปกรณ์ปลายทางกับระหว่างชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณไม่มีความแตกต่างกัน โดยสามารถสรุปได้ว่าเมื่อนำชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้ามาในระบบจะทำให้ระยะทางในการสื่อสารเพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 1 เท่า เนื่องจากภายในวงจรของชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณได้มีการสร้างสัญญาณขึ้นมาใหม่ภายในตัว ซึ่งทำให้สามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของระยะทางของการสื่อสารผ่านแสงที่มองเห็นได้ได้

4.5 การทดลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเข้มแสง และบริเวณที่แสงตกกระทบ

4.5.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

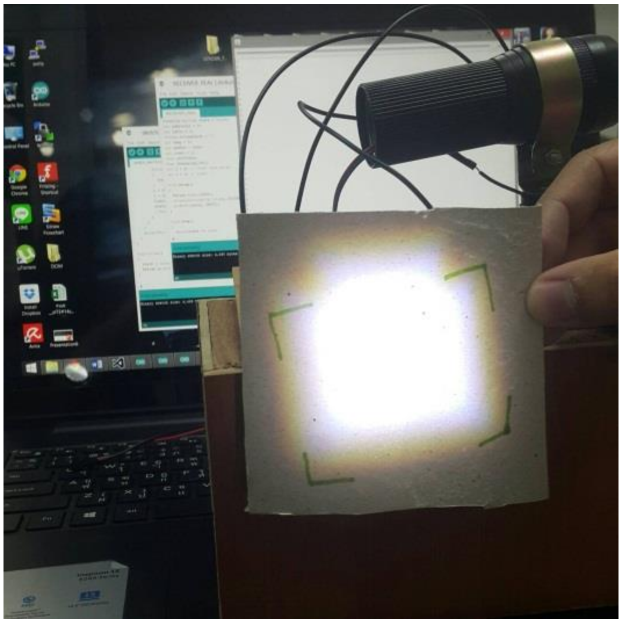
สำหรับในหัวข้อสำหรับในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองส่งสัญญาณแสงเพื่อทดสอบความเข้มแสง ต่อระยะทางการสื่อสารและขนาดของบริเวณที่แสงตกกระทบ เพื่อหาระยะที่สามารถสื่อสารผ่านแสงด้วยอุปกรณ์ส่งได้ ภายใต้ความเข้มแสงที่ 160 ลักซ์

4.5.2 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องรับและส่งสัญญาณ จำนวน 1 เครื่อง
- ลักซ์มิเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์ จำนวน 1 เครื่อง
- โปรแกรม Arduino IDE
- ฉากรับแสง

4.5.3 วิธีการทดลอง

การทดลองทำโดยปรับโฟกัสที่เลนส์ที่ใช้ในส่งแสงให้มีความเข้มสูงสุด จากนั้นจึงเลื่อนระยะในการตั้งฉากรับแสงออกไปเรื่อยๆ โดยทำการวัดความเข้มแสงด้วยลักซ์มิเตอร์ และวัดขนาดการกระจายของแสงเมื่อตกกระทบฉากรับแสง ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การทดลองวัดขนาดและความเข้มแสงตามระยะทางที่เปลี่ยนไป

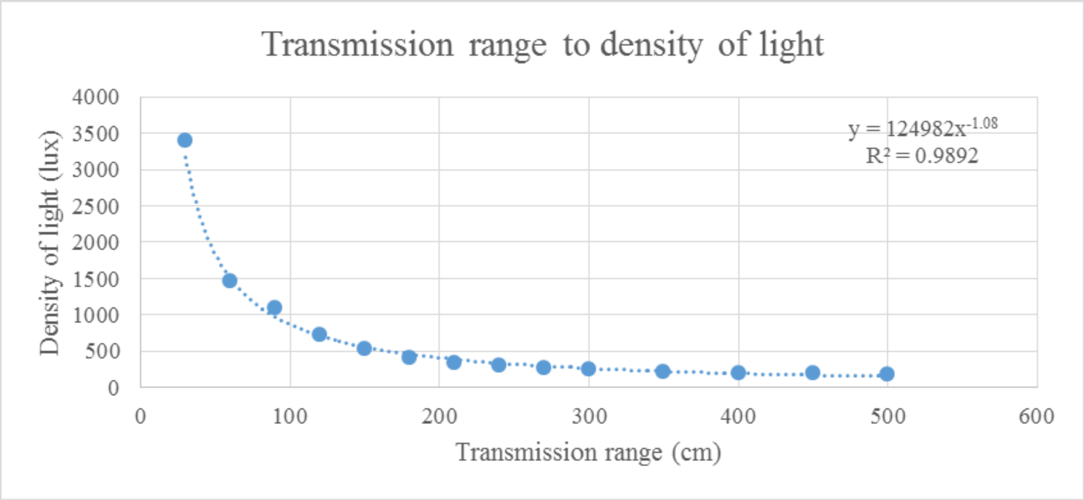
4.5.4 ผลการทดลองเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเข้มแสง และบริเวณที่แสงตกกระทบ

ผลการทดลองการวัดความเข้มแสง และบริเวณที่แสงตกกระทบ ของแต่ละระยะทางสามารถแสดงออกมาเป็นความสัมพันธ์ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง ความเข้มแสง และบริเวณที่แสงตกกระทบ

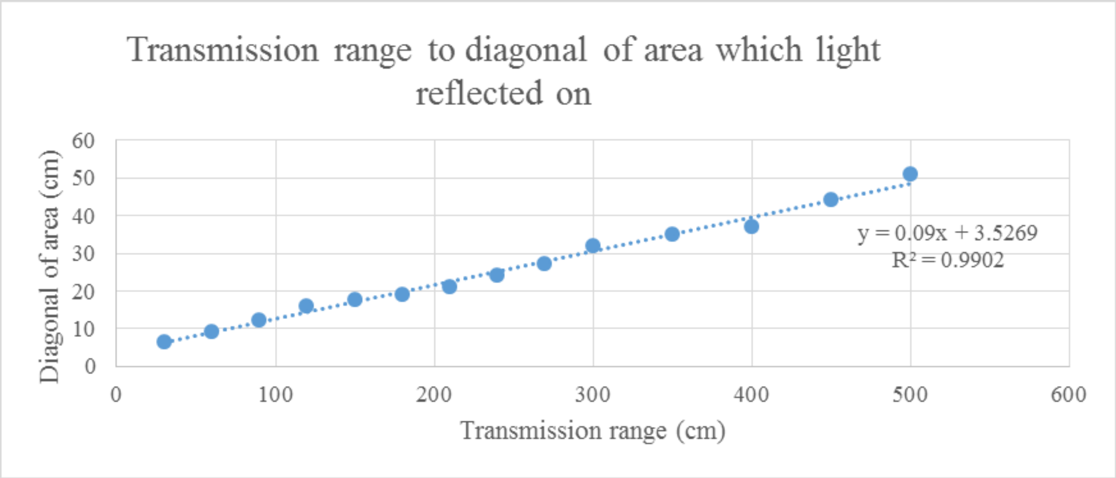
Transmission range (cm)	***Density of light (lux)***	***Diagonal of light reflected area (cm)***
30	**3400**	**6.5**
60	**1470**	**9**
90	**1100**	**12**
120	**730**	**16**
150	**530**	**17.5**
180	**410**	**19**
210	**343**	**21**
240	**310**	**24**
270	**275**	**27**
300	**248**	**32**
350	**222**	**35**
400	**200**	**37**
450	**190**	**44**
500	**180**	**51**

จากการทดลองเมื่อข้างต้นสามารถเขียนออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะทาง กับความเข้มแสงที่วัดได้จากแผ่นรองพื้นหลัง โดยกราฟที่ได้จะมีการลดลงแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential) ได้ดังแสดงในรูป 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทาง

นอกจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับระยะทางแล้ว จากการทดลองยังสามารถแสดงออกมาเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างบริเวณที่แสงตกกระทบกับระยะทาง โดยบริเวณที่แสงตกกระทบวัดได้จากเส้นทแยงมุมซึ่งจากกราฟที่แสดงผลจะเห็นได้ว่ามีการเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างบริเวณที่แสงตกกระทบกับระยะทาง

4.5.5 สรุปผลการทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูล

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นความเข้มแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วในระยะแรกแล้วค่อยๆลดช้าลงเป็นแบบเอ็กโพเนนเชียล ส่วนของบริเวณที่แสงตกกระทบก็จะมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญโดยค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างคงที่

4.6 การทดลองการสื่อสารแบบหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

4.6.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง

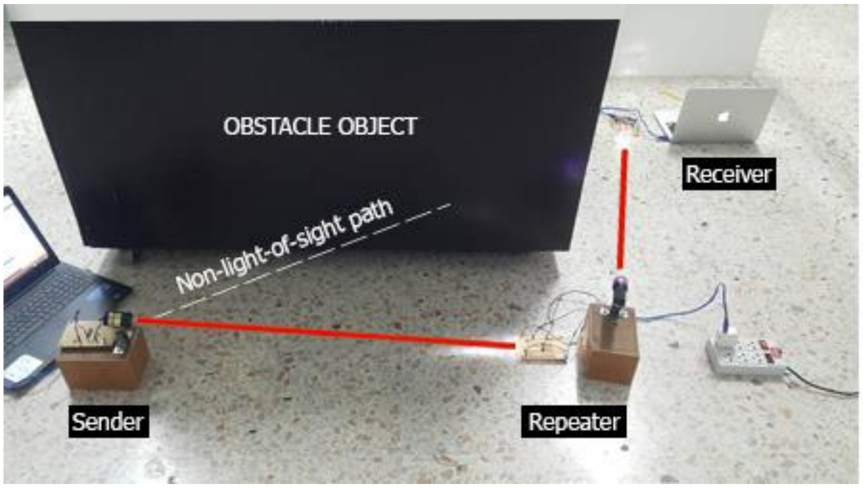
สำหรับในหัวข้อสำหรับในการทดลองนี้จะเป็นการทดลองส่งสัญญาณแสงโดยมีการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เนื่องจากการใช้งานจริงการสื่อสารผ่านแสงเป็นการส่งสัญญาณแบบ line-of-sight ทำให้อาจมีสิ่งกีดขวางในการสื่อสารได้

4.6.2 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องรับและส่งสัญญาณ จำนวน 2 เครื่อง
- เครื่องทวนสัญญาณ จำนวน 1 เครื่อง
- คอมพิวเตอร์ จำนวน 2 เครื่อง
- โปรแกรม Arduino IDE
- โปรแกรมรับส่งข้อมูล

4.6.3 วิธีการทดลอง

ทำการติดตั้งระบบทวนสัญญาณ โดยทำการปรับมุมในการส่งของหลอดแอลอีดี เพื่อให้สามารถสื่อสารแบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การทดลองวัดระยะทางในการส่งข้อมูลโดยใช้เครื่องทวนสัญญาณ

4.6.4 สรุปผลการทดลอง

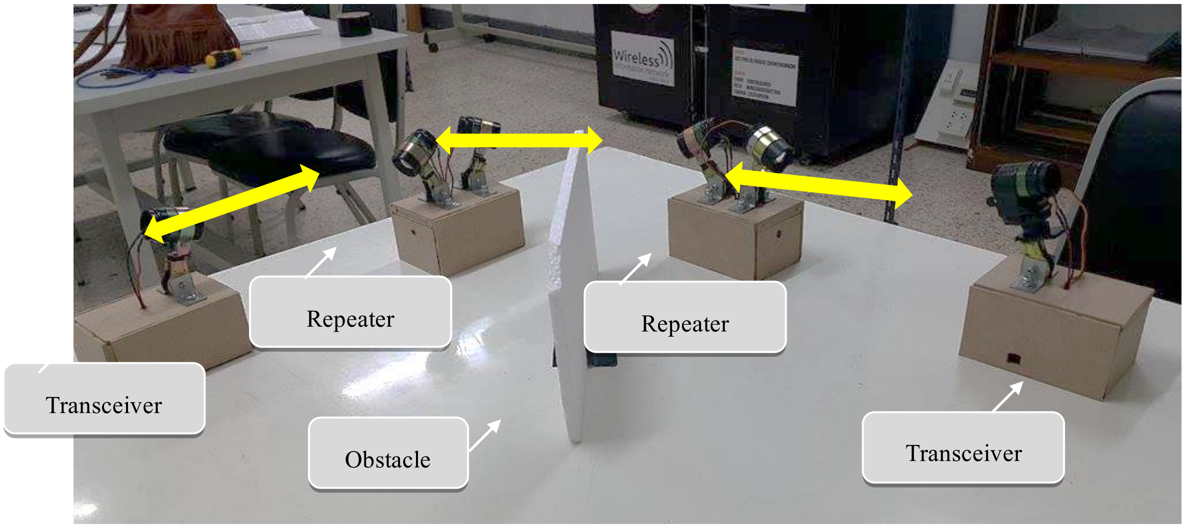
จากการทำการทดลองพบว่า เมื่อทำการตั้งเครื่องทวนสัญญาณโดยมีการปรับมุมการสื่อสารให้ต้องกับเครื่องรับส่งสัญญาณทั้ง 2 ด้านแล้วพบว่าสามารถที่สื่อสารโดยหลบสิ่งกีดขว้างได้ซึ่งจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตั้งระบบการสื่อสารผ่านแสงต่อไป

บทที่ 5
บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานเทคโนโลยีการสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ เพื่อลดข้อจำกัดซึ่งก็ คือระยะทางในการสื่อสาร โดยวิธีการ คือสร้างเครื่องทวนสัญญาณขึ้นเพื่อเพิ่มระยะทางในการส่งข้อมูล และลดปัญหาในการสื่อสารผ่านแสงที่ตามองเห็นได้ในด้านการสื่อสารในด้านการเดินทางของแสงที่เป็นแนวตรงทำให้มีความยืดหยุ่นในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การสื่อสารเริ่มจากนำเอาข้อมูลที่ต้องการส่งมาผสมกับสัญญาณแสงจากหลอดแอลอีดี แล้วทำการส่งผ่านออกไปโดยผ่านวงจรตัวส่งสัญญาณแสง ด้วยการมอดูเลชั่นสัญญาณแบบ ออน – ออฟคีย์อิ้ง ทำให้หลอดไฟแอลอีดี มีการกระพริบติด – ดับ ตามชุดข้อมูลที่ส่งโดยมีอุปกรณ์ควบคุม คือไมโครคอนโทรเลอร์ จากนั้นเมื่อแสงเดินทางผ่านตัวกลางจนถึงเครื่องทวนสัญญาณ ซึ่งภายในประกอบด้วย โฟโต้ไดโอดทำหน้าที่รับสัญญาณแสงจากวงจรส่ง ไมโครคอนโทรเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการรับและส่งข้อมูลที่รับผ่านโฟโต้ไดโอดจากนั้นส่งข้อมูลออกผ่านหลอดแอลอีดี และหลอดแอลอีดี โดยระบบดังกล่าวสามารถสื่อสารผ่านแสงได้ระยะไม่เกิน 5.90 เมตร ระหว่างจุดต่อจุดของชุดอุปกรณ์ภายในอาคาร

จากการดำเนินงาน และได้ทำการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณสามารถที่แก้ไขและลดข้อจำกัดในการสื่อสารได้เป็นอย่างดี โดยสามารถที่จะเพิ่มระยะทางในการสื่อสารซึ่งเมื่อทำการเพิ่มชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณเข้าไปในระบบแล้วเราจะได้ระยะทางในการสื่อสารเพิ่มขึ้นอีก 1 เท่าตามจำนวนของชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณ เนื่องจากภายในชุดอุปกรณ์ทวนสัญญาณนั้นมีวงจรสำหรับสร้างสัญญาณใหม่ขึ้นจึงทำให้ไม่เกิดการลดทอนของสัญญาณลง อีกทั้งยังสามารถแก้ไขปัญหาในเรื่องของการหลบหลีกสิ่งกีดขว้างซึ่งเกิดขึ้นมากภายในอาคารได้อีกด้วย ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการใช้เครื่องทวนสัญญาณเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

จากการทดลองแบ่งปัญหาที่เกิดขึ้นออกเป็น 4 ส่วนด้วยกัน คือ

1. การประมวลผลซอฟต์แวร์ ผ่านโปรแกรม Microsoft Visual Studio Express 2013 โดยตัวแปรที่รับข้อมูลผ่าน Serial Port จากไมโครคอนโทรเลอร์จะเป็นชนิดตัวแปร String ทำให้เมื่อนำ String มาต่อกันเกิดช่องว่างระหว่างข้อมูล เนื่องจากตัวแปร String มีตัวปิดท้ายข้อมูลออกมาด้วย
   แก้ไขโดย : เมื่อรับข้อมูลผ่านตัวแปรเข้ามา แล้วจะทำการต่อข้อมูลกัน ให้เลือกข้อมูลที่เป็น Array แรกนำมาต่อซึ่งก็จะทำให้ไม่ติดส่วนที่ปิดท้ายของข้อมูลที่เป็นช่องว่างมาด้วย

2. การรับส่งข้อมูล แบบบิตทำได้ช้าและไม่สามารถระบุได้ว่าขณะไหนต้องเริ่มรับข้อมูลหรือหมดชุดข้อมูลที่ต้องการรับแล้ว ทำให้ต้องเปิดรับข้อมูลตลอดซึ่งทำให้ Buffer ภายในไมโครคอนโทรเลอร์เต็มจึงเกิดการผิดพลาดในการทำงานขึ้น
   แก้ไขโดย : ใช้วิธีการรับส่งข้อมูลแบบไบต์ให้ไมโครคอนโทรเลอร์ทำการแปลงข้อมูลเองภายในเพื่อเพิ่มความเร็วในการรับส่งข้อมูล และทำการเพิ่มบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้ายเพื่อเริ่มและสิ้นสุดการรับชุดข้อมูลซึ่งก็จะแก้ปัญหา Buffer เต็มและไมโครคอนโทรเลอร์ทำงานผิดพลาดได้

3. การกระพริบของหลอดแอลอีดีที่ใช้ในการส่งข้อมูลผ่านแสงนั้นยังมีความถี่ในการกระพริบที่ต่ำเนื่องจากไมโครคอนโทรเลอร์ ที่เลือกใช้มีกระบวนการทำงานได้ช้า ทำให้ส่งข้อมูลได้ไม่เร็วเท่าที่ควร
   แก้ไขโดย : เลือกใช้อุปกรณ์ไมโครคอนโทรเลอร์ให้มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้น

4. การสื่อสารภายใต้สภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากโฟโต้ไดโอดมีความไวต่อแสงสูงทำให้ต้องกำหนดสภาพความเข้มแสงเป็นตัวแปรควบคุม โดยกำหนดเฉลี่ยไว้ที่ 160 ลักซ์ หากมีการเปลี่ยนสภาพแวดล้อมออกไปจะทำให้มีผลต่อระยะทางในการสื่อสาร
   แก้ไขโดย : ควรจะติดตั้งโฟโต้ไดโอดในสภาวะแวดล้อมที่มีความเข้มแสงคงที่ตามที่กำหนด ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานโฟโต้ไดโอดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

5.3 แนวทางพัฒนาต่อไป

- อุปกรณ์ในส่วนปลายทางอาจจะเปลี่ยนเป็น อุปกรณ์ที่สะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้น เช่น แทปเล็ต (Tablet) โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Phone) และพัฒนาระบบการทำงานในส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งานให้มีความสะดวกในการใช้งานเพิ่มมากขึ้นมากขึ้นทั้งในด้าน ส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ปลายทาง

- เพิ่มในส่วนของการหาเส้นทางในการสื่อสาร หากมีเส้นทางในการสื่อสารเพิ่มมากขึ้นหรือมีความผิดพลาดในส่วนเส้นทางสื่อสารเกิดขึ้น เพื่อให้สามารถสื่อสารต่อไปได้โดยอาจจะกำหนดในรูปแบบของ ชุดข้อมูลที่มีที่อยู่ปลายทางของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ เป็นต้น

- ลดขนาดชุดอุปกรณ์ในการส่งและรับ เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆยังคงมีขนาดใหญ่ทำให้ไม่สะดวกในการติดตั้ง และใช้งานโดยอาจจะลดขนาดของเลนส์ที่ใช้ในกระบวนการส่งสัญญาณแสงและขนาดของไมโครคอนโทรเลอร์

- เพิ่มอัตราการส่งข้อมูลโดย สามารถพัฒนาได้ทั้งส่วนของโปรแกรมให้มีความไวต่อการทำงานมากขึ้น และในส่วนของฮาร์ดแวร์ โดยเลือกอุปกรณ์ที่มีความเร็วในการตอบสนองได้ดีมากขึ้น ในแนวทางการพัฒนาในส่วนของโปรแกรมอาจจะมีการพัฒนาเป็นชุดข้อมูลในการส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสื่อสารมากขึ้น โดยเปลี่ยนอัตราการส่งข้อมูล (Data Rate) จาก 9600 เป็น 14400, 19200, 28800, 38400, 57600 หรือ 115200 bits per second

- เพิ่มปริมาณการส่งข้อมูล โดยการปรับขนาดบัฟเฟอร์ (Buffer) ในไมโครคอนโทรเลอร์ให้มีขนาดมากขึ้น และแบ่งข้อมูลเป็นแพ็คเกต (Packet) ในการส่งข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

[1] NBTC.go.th Site. Retrieved from
http://www2.nbtc.go.th/phocadownload/prnbtc/0442012537222.pdf

[2] THAIPUBLICA. (2015, July 7). คมนาคม-กสทช. ลงนาม MOU จัดระเบียบวิทยุชุมชนส่งคลื่นรบกวนการบิน หวั่นเกิดอุบัติเหตุ – พบแค่ 4 เดือน รบกวนเกือบ 1 พันครั้ง. Retrieved from http://thaipublica.org/2015/07/nbtc-watch-14/

[3] LBS kuttipedia. (2013, March 21). VISIBLE LIGHT COMMUNICATION. Retrieved from https://lbsitbytes2010.wordpress.com/2013/03/21/visible-light-communicationroll-no39/

[4] Luciom. (2015). Our Technology. Retrieved from http://www.luciom.com/en/technologie/

[5] The LIBRARY of CONGRESS. (2010, June 12). Bell's Photophone. Retrieved from http://memory.loc.gov/ammem/today/jun03.html

[6] Nakagawa Laboratories. (2007, October 1). Nakagawa Lab since 2003. Retrieved from http://www.naka-lab.jp/topics/2007_e.html

[7] OMEGA. (2008). 2008 OMEGA project consortium. Retrieved from http://www.ict-omega.eu/home.html

[8] CE.org Site. (2014, January 5). Academia Tech Debuts at CES. Retrieved from http://www.ce.org/i3/Innovate/2014/January-February/Academia-Tech-Debuts-at-CES.aspx

[9] ByteLight. (2015). Scalable Indoor Location. Retrieved from http://www.bytelight.com/

[10]Shinichiro Haruyama, "Visible Light Communication Using Sustainable LED Lights," ITU Kaleidoscope: Building Sustainable Communities. (K-2013), Kyoto, Japan, pp. 1–6, April 2013.

[11]Shinichiro Haruyama, "Advances in Visible Light Communication Technologies," Optical Communication. (ECOC), Amsterdam, Netherlands, pp. 1–3, September 2012.

[12]Manoj V. Bhalerao and Dr. S. S. Sonavane, "Visible Light Communication: A Smart Way Towards Wireless Communication," 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics. (ICACCI), New Delhi, India, pp. 1370–1375, September 2014.

[13]อมเรศ เลิศสุวรรณกิจ และคนอื่นๆ, (2554), การประมาณตำแหน่งภายในอาคารด้วยแสงที่มองเห็นได้, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[14]ราตรี ทองดี, (2556), สัญญาณอนาล็อกและสัญญาณดิจิทัล, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://ratrilovely603.blogspot.com/

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[15]เมคคาช็อป, (2550), 3W White Led Light 160LM LED Super Bright, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.mechashop.com/store/product/view/3W_White_Led_Hgh_power_Light_200LM_LED_Super_Bright_EpiStar_Taiwan-17244406-th.html

[16]SK Pang Electronics, (2550), Super Bright LED 5mm - White, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.skpang.co.uk/catalog/super-bright-led-5mm-white-p-946.html

[17]ไม่ระบุชื่อผู้แต่ง, (2556), แสง, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ..31.สิงหาคม.2557,.จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87

[18]เฮงซาวด์ดอทคอม, (2550), KS LIGHTING Spotlight led high power 20 W, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.hengsound.com/spotlight-led-high-power-30-w-spotlight-led-high-power-20-w

[19]LCK-LED, (2555), Cree XLamp XM-L Cool White LEDs U3 Bin 1A Tint, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.lck-led.com/cree-xlamp-cool-white-leds-tint-p-1005.html

[20]อมเรศ เลิศสุวรรณกิจ และคนอื่นๆ, (2554), การประมาณตำแหน่งภายในอาคารด้วยแสงที่มองเห็นได้, ปริญญานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

[21]ไม่ระบุชื่อผู้แต่ง, (2553), ไมโครซอฟท์ วิชวลสตูดิโอ, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%A1%E0%B9%82%E0%B8%84%E0%B8%A3%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%9F%E0%B8%97%E0%B9%8C_%E0%B8%A7%E0%B8%B4%E0%B8%8A%E0%B8%A7%E0%B8%A5%E0%B8%AA%E0%B8%95%E0%B8%B9%E0%B8%94%E0%B8%B4%E0%B9%82%E0%B8%AD

[22]Thaieasyelec, (2556), แนะนำเพื่อนใหม่ที่ชื่อ Arduino, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม2557, จาก http://www.thaieasyelec.com/75-1-micro-metal-gearmotor-hp-detail.html?tmpl=component&flexiblelayout=print

[23]จุฑามาศ วงษ์สวาท, (2550), สเปกตรัม (Spectrum), (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.promma.ac.th/main/chemistry/jutamas/lesson/spectrum2.htm

[24]สถาบันนวัตกรรมและพัฒนากระบวนการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล, (2556), สีและแสง, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/12/6/CD/colorandLight/page1_4.html, 31

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

[25]PhysicskruTitima,(2557),เลนส์บาง,(ออนไลน์),ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก https://sites.google.com/site/physicskrumai/home/lens

[26]Peter J. Winzer, (2556), Modulation and multiplexing in optical communication systems, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://photonicssociety.org/newsletters/feb09/modulation.pdf

[27]Chansin Nannong, (2552), รู้จักกับภาษา C#, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2556, จาก http://photonicssociety.org/newsletters/feb09/modulation.pdf

[28]Dr Isaac Jamieson, Visible Light Communication (VLC) Systems. Available from: http://bemri.org/visible-light-communication.html [Accessed 2014 August 31]

[29]IT อิอิ (นามแฝง), (2547), อนาล็อกกับดิจิทัลคืออะไร ต่างกันอย่างไร, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://iteiei.blogspot.com/2012/03/blog-post_29.html,

[30]National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), (2554), Visible Light Communication: VLC, (ออนไลน์), ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.thaitelecomkm.org/OQC/index.php/en/visible-light-communication-system

[31]SK Pang Electronics, (2550), Super Bright LED 5mm - White, (ออนไลน์),ค้นเมื่อ 31 สิงหาคม 2557, จาก http://www.skpang.co.uk/catalog/super-bright-led-5mm-white-p-946.html

[32]Mondo*arc magazine limited. 2011 June. Visible Light Communication. Available: http://www.mondoarc.com/technology/LED/922357/visual_light_ communication.html [Accessed 2015 January 25]

[33]Preeya Anupongongard. Light. *Physics 2*. Available: http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/62/light1/ligh_1.htm [Accessed 2015 January 25]

[34]Isaac Jamieson. Visible Light Communication (VLC) Systems. Available: http://bemri.org/visible-light-communication.html [Accessed 2015 February 10]